

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VILMAR PICINATTO FILHO

MÉTRICAS DA PAISAGEM E MODELAGEM PARA PREVISÃO DE DANOS
POR MACACO-PREGO (*Sapajus nigritus* Goldfuss) EM *Pinus taeda* L..

CURITIBA/PR

2019

VILMAR PICINATTO FILHO

MÉTRICAS DA PAISAGEM E MODELAGEM PARA PREVISÃO DE DANOS
POR MACACO-PREGO (*Sapajus nigritus* Goldfuss) EM *Pinus taeda* L..

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Coorientadores: Prof. Dr. Allan Libanio Pelissari
Prof. Dr. Marcos Benedito Schimalski

CURITIBA/PR

2019

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Picinatto Filho, Vilmar

Métricas da paisagem e modelagem para previsão de danos por macaco-prego (*Sapajus nigritus* Goldfuss) em *Pinus taeda* L. / Vilmar Picinatto Filho. – Curitiba, 2019.
108 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Coorientadores: Prof. Dr. Allan Libanio Pelissari

Prof. Dr. Marcos Benedito Schimalski

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 17/09/2019.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. *Pinus taeda* – Doenças e pragas. 2. Macaco-prego. 3. Paisagens fragmentadas. 4. Teses. I. Arce, Julio Eduardo. II. Pelissari, Allan Libanio. III. Schimalski, Marcos Benedito. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.451



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **VILMAR PICINATTO FILHO** intitulada: **MÉTRICAS DA PAISAGEM E MODELAGEM PARA PREVISÃO DE DANOS POR MACACO-PREGO (*Sapajus nigritus* GOLDFUSS) EM *Pinus taeda* L.**, sob orientação do Prof. Dr. JULIO EDUARDO ARCE, que após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 17 de Setembro de 2019.

JULIO EDUARDO ARCE
Presidente da Banca Examinadora

NELSON YOSHIHIRO NAKAJIMA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

EDILSON BATISTA DE OLIVEIRA
Avaliador Externo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA
AGROPECUÁRIA)

ALLAN LIBANIO PELISSARI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

MARCOS FELIPE NICOLETTI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA
CATARINA)

Para as pessoas que contribuíram para a minha
evolução e sonharam ao meu lado, dedico.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Vilmar Picinatto Filho, filho de Vilmar Picinatto e Marlene Fátima Magnabosco da Cruz Picinatto, nasceu em Joaçaba, Santa Catarina, em 16 de abril de 1988. Iniciou os estudos voltados à área florestal no ano de 2006 com o ingresso na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Dedicou os cinco anos do curso aos estudos relacionadas à fauna silvestre, orientado pelo Professor Dr. Pedro Volkmer de Castilho. Graduou-se Engenheiro Florestal em 2011. No ano de 2012, iniciou o mestrado na UDESC e paralelamente foi aprovado no processo seletivo para desempenhar a função de professor do ensino superior na mesma instituição. Tornou-se Mestre no ano de 2014. Em 2015 começou seus estudos de Doutorado no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná na área de concentração de Manejo Florestal, os quais são concluídos com a defesa desta tese.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser onipresente e onipotente.

A Muriel Wanda Gerber, minha amada noiva, pelos sonhos que compartilhamos e que tornaremos realidade.

Aos meus Pais, Vilmar e Marlene, pela educação vinda do berço, pelas orações, pela tolerância e pelo exemplo de família que formaram.

A minha irmã, Angela, meu cunhado Ricardo e meu sobrinho Enzo, pelo símbolo de luta e força.

A família Gerber e Tavares, em especial ao Otto, representação do amor e da serenidade.

A Camila de Souza Furlan, profissional exemplar e detentora de um imenso conhecimento, pela ajuda no desenvolvimento das ideias e validação das hipóteses dessa pesquisa.

Carla Talita Pertille, pela parceria no processo de defesa da pesquisa e apoio na obtenção dos dados.

Ao meu orientador Dr. Julio Eduardo Arce e aos meus coorientadores, Dr. Allan Libanio Pelissari e Dr. Marcos Benedito Schimalski, pelos ensinamentos e direcionamentos.

Ao Max Farjallat Raffi, irmão que a vida me apresentou que tenho um imenso respeito e orgulho.

Aos funcionários da empresa SUMATRA Inteligência Ambiental, meus grandes amigos que se dedicam todos os dias em busca da melhoria contínua.

As empresas Klabin e Florestal Gateados, por confiar a pesquisa e fornecer subsídios para que ela frutificasse.

Agradeço.

“O Cristo não pediu muita coisa, não exigiu que as pessoas escalassem o Everest ou fizessem grandes sacrifícios. Ele só pediu que amássemos uns aos outros.”

Chico Xavier

O presente trabalho foi realizado com apoio da
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal
de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de
Financiamento 001.

RESUMO

O macaco-prego (*Sapajus nigritus* Goldfuss) é considerado uma espécie problema no segmento de florestas plantadas, ao usarem árvores de plantações comerciais como fonte de alimento. Os registros indicam que os danos estão relacionados aos períodos de escassez na floresta natural pela sua baixa qualidade ambiental e fragmentação. É fundamental para a busca de estratégias de manejo de macaco-prego a realização de pesquisa científica sobre fragmentação da paisagem, nos locais onde são encontrados danos, bem como a realização de trabalhos que avaliem os plantios antes da identificação dos danos com objetivo de possibilitar previsão e prevenção. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar os atributos da paisagem relacionados ao uso de *Pinus taeda* L. por macaco-prego (*Sapajus nigritus*) por meio do estudo da paisagem e das características da vegetação. O estudo da paisagem foi conduzido em plantios florestais do estado de Santa Catarina, por meio de uma base de dados com informações dos danos causados pelo macaco-prego entre os anos de 2012 a 2016. Definiu-se escala de efeito considerando três fatores biológicos da espécie *S. nigritus*. Foram selecionadas cinco métricas para avaliar a disposição e a composição da paisagem, calculadas em mapas obtidos a partir da biblioteca 2.3 do MapBiomas. A diferença nas métricas entre os locais com e sem danos foi testada pelo Teste U de Mann-Whitney, ao nível de 5% de probabilidade. A existência de correlação entre as métricas e a presença de danos foi aferida pelo teste de correlação de Spearman. Para verificar a existência de autocorrelação espacial, o Índice de Moran I foi calculado. Para a avaliação das características da vegetação, o estudo foi realizado em três plantios de *P. taeda* localizados no município de Campo Belo do Sul, SC. Foram selecionadas aleatoriamente 180 unidades amostrais circulares de 500 m² em locais com e sem danos. Para avaliar as diferentes respostas espectrais, cinco imagens oriundas da constelação de satélites Sentinel-2 foram coletadas no período anterior a identificação dos danos e 15 Índices de Vegetação (IV) foram calculados, além do teor de clorofila da folha. Para avaliar a existência de relação entre os IV e a presença de danos, os dados foram submetidos ao teste de correlação de Spearman. Por meio da Regressão Logística Dicotômica, criou-se o modelo de preditor da ocorrência de danos, selecionando as variáveis regressoras com auxílio da Análise de Componentes Principais. Nas áreas com matriz florestal houve maior relação com a presença de danos. Ainda, nas áreas com danos, são encontradas manchas de maior área, melhor forma e menos fragmentadas, se comparadas aos locais sem danos. O Índice de Moran I resultou na ausência de autocorrelação espacial global. Existe correlação entre a variável categórica (presença ou ausência de danos) e os IV calculados para o período que antecede a ocorrência dos ataques. O resultado obtido da Regressão Logística Dicotômica apresentou-se satisfatório, com explicação global entre 75% e 79%. Dessa forma, pode-se concluir que as áreas com danos possuem características de paisagem menos fragmentada, com matriz microrregional florestal, em que os animais buscam os plantios com maior produção de fotoassimilados.

Palavras-chave: Descascamento de árvores. Fragmentação florestal. Índices de vegetação. Atributos da paisagem.

ABSTRACT

The black capuchin monkey is considered a pest species in the planted forests field when use the trees as a food source. The records indicates that damage is related to periods of scarcity in natural forests, due to its low environmental quality and fragmentation. Scientific research on landscape fragmentation is essential for the search for capuchin management strategies, where damage is found, as well as carrying out works that evaluate the stands before the damage identification in order to enable prediction and prevention. Thus, the aim of the present study was to assess the attributes of landscape related to the use of *Pinus taeda* L. by black capuchin (*Sapajus nigritus*), through the landscape study and vegetation characteristics. The landscape study was carried out in forest stands at Santa Catarina State, through a database with information of damages caused by black capuchin between 2012 to 2016. The scale of effect was defined considering three biological factors of the species *S. nigritus*. Five metrics have been selected to evaluate the disposition and composition of the landscape, and calculated in maps obtained from the 2.3 library of MapBiomass. The difference in the metrics between the locations with and without damages was tested by the Mann-Whitney's U test, at the 5% probability level. The existence of correlation between metrics and presence of damages was measured by Spearman's Rho correlation test and to verify the existence of spatial autocorrelation, the Moran's Index was calculated. Although, to the vegetation characteristics assessment, the study was performed in three *P. taeda* stands located at Campo Belo do Sul, SC. 180 circular samples of 500m² were randomly selected at locations with or without damages. To assess the different spectral responses, five images derived from the satellite constellation Sentinel-2 were collected on the period preceding the damage identification and 15 vegetation indexes (IV) were calculated, besides the chlorophyll content of the leaf. To evaluate the existence of relationship between IV and presence of damage, data were subjected to the Spearman's Correlation test. Through the Dichotomous Logistic Regression, the predictor model of damage occurrence was created, selecting the regressors with the support of the Principal Component Analysis. In the areas where the landscape matrix is occupied by forests there was higher relationship with the presence of damage. Moreover, in the areas with damages marks with bigger area, better form, and less fragmentation are found, when compared to the locations without damages. The Moran's Index resulted in the absence of global spatial autocorrelation. There is a correlation between the categorical variable (presence or absence of damage) and calculated IV for the period preceding the diagnosis of attacks. The result obtained in the dichotomous logistic regression presented satisfactory results, with global explanation between 75% and 79%. Thus, can be concluded that the areas with damages have characteristics of less fragmented landscape, with forest microregion matrix, where the animals seek the stands with photoassimilates production.

Keywords: Forest fragmentation. Landscape attributes. Tree bark-stripping. Vegetation indexes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Indivíduo da espécie <i>Sapajus nigritus</i> (Macaco-prego).	26
Figura 2. Localização da área de estudo.....	56
Figura 3. Correlogramas de Moran I.	62
Figura 4. Localização e uso da terra na área de estudo.....	73
Figura 5. Comportamento dos IV PSRI ao longo do período de avaliação.	79
Figura 6. Gráficos <i>boxplots</i> demonstrando a diferença entre os valores obtidos para os IV IRECI e CHRR, quando ainda sadios, nas amostras sem a presença de danos (SIM) e com a presença de danos (NÃO).	80
Figura 7. Variação do teor de clorofila da folha (Cab) no período de estudo. ..	81
Figura 8. Gráficos de escarpa obtidos na PCA para os plantios implantados nos anos de 2009, 2010 e 2012.....	82
Figura 9. Gráficos <i>boxplots</i> das variáveis regressoras demonstrando ausência de <i>outliers</i>	82

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1. Métricas da paisagem avaliadas para áreas com e sem danos de macaco-prego.	60
Tabela 2. Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliar as diferenças entre as métricas da paisagem nos locais com e sem danos.	61
Tabela 3. Resultados do teste de correlação entre as métricas da paisagem nos locais com e sem danos.	61
Tabela 4. Datas das imagens obtidas.	75
Tabela 5. Resultados dos testes de normalidade e correlação dos IV da imagem de dezembro/2016 para os plantios de pinus implantados nos anos de 2009, 2010 e 2012 (Continua...).	79
Tabela 6. Resultados da Análise de Componentes Principais para os três plantios.	81
Tabela 7. Parâmetros obtidos na Regressão Logística Dicotômica.	83
Tabela 8. Coeficientes dos modelos previsores obtidos por Regressão Logística Dicotômica.	83
Quadro 1. Resumo das técnicas de manejo para reduzir os danos causados por macacos-prego aos plantios de pinus no Brasil (Continua...).	33
Quadro 2. Métricas da paisagem usadas no estudo com suas respectivas equações.	59
Quadro 3. Índices de vegetação utilizados no estudo (Continua).	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente
ARI1 – Índice de Reflectância de Antocianinas 1
ARI2 – Índice de Reflectância de Antocianinas 2
árv.ha⁻¹ – árvores por hectare
BR – Brasil
Cab – teor de clorofila da folha
CHR – Índice de Clorofila da Borda Vermelha
CHRR – Índice de Clorofila Modificado do Vermelho e da Borda Vermelha
CR – Criticamente em perigo
CRI2 – Índice de Reflectância de Carotenóides 2
E – Leste
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EN – Em perigo
ESA – *European Space Agency* (Agência Espacial Europeia)
FED – Floresta Estacional Decidua
FOD – Floresta Ombrófila Densa
FOM – Floresta Ombrófila Mista
ha – hectare
IRECI – Índice de Clorofila da Borda Vermelha Invertido
IUCN – *International Union for Conservation of Nature* (União Internacional para Conservação da Natureza)
IV – Índice de Vegetação
kg – quilograma
m – metro
m² – metro quadrado
m³ – metro cúbico
MCARI – Índice de Relação de Absorção de Clorofila Modificado
mm – milímetro
MTCI – Índice Terrestre de Clorofila MERIS
NDI45 – Índice de Diferença Normalizado
NDVIR – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da Borda Vermelha

NDVIRR – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do Vermelho e da Borda Vermelha

NIR – Infravermelho Próximo

°C – graus celsius

PR – Paraná

PSRI – Índice de Reflectância da Senescência da Planta

PSSRa – Índice de Vegetação da Razão Simples para Pigmentação Específica

R\$/ha – reais por hectare

Raster – imagem composta por uma matriz de pontos

REEVI – Índice de Vegetação Melhorado da Borda Vermelha

RL – Reserva Legal

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

S – Sul

S2REP – Índice de Posição da Borda Vermelha

SC – Santa Catarina

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000.

SNAP – *Sentinel Application Platform* (Plataforma de aplicativos Sentinel)

SR – Sensoriamento Remoto

UTM – *Universal Transversa de Mercator* (Transversa Universal de Mercator)

VANT – Veículos Aéreos Não Tripulados

VU – Vulnerável

β_0 – coeficiente linear

β_1 – coeficiente angular

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	19
2 OBJETIVOS.....	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3 REVISÃO DE LITERATURA	24
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	24
3.2 ORDEM PRIMATAS E A FAMÍLIA CEBIDAE.....	24
3.3 O GÊNERO <i>Sapajus</i> E A ESPÉCIE <i>Sapajus nigritus</i>	25
3.4 CARACTERÍSTICAS DA DIETA DE <i>Sapajus nigritus</i>	28
3.5 HISTÓRICO DO USO DE PINUS POR PRIMATAS NO BRASIL.....	30
3.6 PESQUISAS REALIZADAS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA NO BRASIL	32
3.7 OUTROS PRIMATAS CONSIDERADOS ESPÉCIE-PROBLEMA.....	35
3.8 IMPORTÂNCIA DA PAISAGEM NA INTERPRETAÇÃO DE FENÔMENOS BIOLÓGICOS E NA RESOLUÇÃO DE CONFLITOS COM ESPÉCIES-PROBLEMA.....	36
3.9 APTIDÃO DOS DADOS REMOTAMENTE COLETADOS PARA AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO POR MEIO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PARA A CRIAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO	38
REFERÊNCIAS	44
4 CAPÍTULO 1 – MÉTRICAS DA PAISAGEM ASSOCIADAS AO USO DE PLANTIOS DE <i>Pinus taeda</i> L. POR MACACO-PREGO (<i>Sapajus nigritus</i> Goldfuss)	53
RESUMO	53
ABSTRACT.....	54
4.1 INTRODUÇÃO	55
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	55

4.2.1	Área de estudo	55
4.2.2	Formação da base de dados	57
4.2.3	Definição da escala de efeito	57
4.2.4	Delineamento experimental	58
4.2.5	Aquisição dos dados de cobertura da terra	58
4.2.6	Métricas da paisagem	59
4.2.7	Análises estatísticas	60
4.3	RESULTADOS	60
4.4	DISCUSSÃO	63
4.4	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66
5	CAPÍTULO 2 – PREDISPOSIÇÃO DE PLANTIOS DE <i>Pinus taeda</i> L. AO DESCASCAMENTO DE ÁRVORES POR MACACO-PREGO (<i>Sapajus nigritus</i> Goldfuss)	69
	RESUMO	69
	ABSTRACT	70
5.1	INTRODUÇÃO	71
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	72
5.2.1	Área de estudo	72
5.2.2	Histórico de danos e seleção das áreas	74
5.2.3	Delineamento experimental	74
5.2.4	Dados remotamente situados	74
5.2.5	Avaliação da correlação dos dados	76
5.2.6	Seleção das variáveis	77
5.2.7	Construção do modelo de regressão	77
5.2.8	Validação do modelo de previsão	78
5.3	RESULTADOS	78
5.4	DISCUSSÃO	84

5.5 CONCLUSÃO	88
REFERÊNCIAS	88
CONCLUSÕES GERAIS.....	94
REFERÊNCIAS	97

1 INTRODUÇÃO GERAL

O macaco-prego (*Sapajus nigritus* Goldfuss) é considerado uma espécie problema no segmento de florestas plantadas com *Pinus taeda*, ao usarem árvores como fonte de alimento, em períodos de escassez na floresta natural pela sua baixa qualidade ambiental e fragmentação. Ataques deste primata já foram relatados por KOEHLER; FIRKOWSKI (1996), destacando os danos em árvores, principalmente do gênero *Pinus*. O uso dos plantios florestais por macaco-prego é reconhecido há mais de 50 anos, mas vem intensificando-se nos últimos 25 anos (LIMA, 1993; ROCHA, 2000). Esses primatas removem a casca viva das árvores, expondo os vasos de floema, os quais são raspados pelo animal, usando os dentes e as unhas, e danificando as células meristemáticas (câmbio) no terço superior da árvore (LIEBSCH *et al.*, 2015).

O comportamento de descascar árvores confronta os objetivos dos plantios de pinus causando descontentamento entre os produtores florestais. Mikich *et al.* (2015) reforçam que *S. nigritus* é uma espécie nativa do Brasil e assim como os demais representantes da fauna nativa é protegida pela Lei 9605/1998. O abate ou tentativa de impedir a reprodução da fauna nativa configuram crimes ambientais no Brasil. Além disso, *S. nigritus* presta serviços fundamentais às florestas onde habita seja pela dispersão das sementes de plantas nas quais encontra frutos, ou pelo controle populacional de insetos (MIKICH *et al.*, 2015).

Nos plantios florestais, as árvores danificadas geralmente são encontradas próximas às áreas naturais, a partir do quarto ano de idade (MIKICH *et al.*, 2005). Uma observação comum é a de que nem todos os talhões margeados por áreas de remanescentes de vegetação natural nas propriedades com danos são atacados. Porém, nos talhões atacados, a intensidade de danos pode superar 50% das árvores (KOEHLER; FIRKOWSKI, 1996; CARVALHO, 2003; CARVALHO, 2007).

Os danos mais graves são àqueles que resultam na morte das árvores, porém é comum encontrar árvores danificadas não mortas no interior do povoamento. Essas, por sua vez, possuem o seu crescimento em altura e diâmetro impactados principalmente pelos danos ocasionados à copa (LIEBSCH *et al.*, 2015). Segundo Liebsch *et al.* (2015) são encontrados dois tipos de danos, o primeiro, denominado janelamento, é caracterizado pela remoção parcial da casca formando aberturas em apenas uma face do tronco. O segundo, denominado anelamento, caracteriza-se pela

remoção da casca em toda circunferência do tronco, sendo mais prejudicial do que o primeiro pois interrompe o fluxo de seiva elaborada, translocada pelos vasos de floema.

O impacto econômico na rentabilidade da floresta plantada não está relacionado somente com a redução no crescimento. Liebsch *et al.* (2018), avaliando as perdas de crescimento de árvores danificadas, alertam que as perdas econômicas decorrentes dos danos causados por macacos-prego são potencializadas quando são avaliadas as perdas de crescimento sobre os sortimentos de florestas desbastadas. Esse impacto negativo na produção pode chegar ao ponto de desencorajar o cultivo de pinus da espécie mais procurada pelo macaco-prego (*Pinus taeda* L.) em áreas com alta incidência de danos, especialmente nas propriedades de pequenos e médios produtores (LIEBSCH; MIKICH, 2017).

No Brasil, relaciona-se o dano a uma única espécie de primata, o *S. nigritus*, popularmente conhecido como macaco-prego. O macaco-prego é um mamífero arborícola, de tamanho médio (3-4 kg) e com hábito alimentar baseado no consumo de frutos e insetos (IZAR, 2004). Até o presente momento, justifica-se o uso de pinus pelo macaco-prego por esses animais encontrarem nas árvores substâncias alimentares (seiva elaborada) (VIDOLIN; MIKICH, 2004; MIKICH; LIEBSCH, 2009).

Mikich e Liebsch (2014) destacam que a ocorrência de danos está relacionada à baixa oferta de alimentos nas florestas naturais próximas às plantações, uma vez que a seiva elaborada só é consumida entre agosto e dezembro, quando a produção de frutos na floresta natural é baixa. Rocha (2000) demonstrou que a escassez de recursos no ambiente natural pode estar influenciando diretamente no aumento dos danos em pinus, ou seja, os animais estão sendo forçados a procurar novos recursos alimentares.

A variação sazonal na disponibilidade de frutos é reconhecida como um fenômeno natural na Floresta Ombrófila Mista (FOM) (MARQUES *et al.*, 2004). Mesmo assim, Mikich e Liebsch (2014) relacionam que a degradação de florestas naturais, pela redução de área e sua fragmentação, reduz ainda mais a oferta de recursos na floresta natural e aumenta a pressão sobre os plantios comerciais.

Apesar de ser considerada uma explicação para a motivação dos danos, a avaliação da paisagem (fragmentação) nos locais onde são encontrados danos nunca foi estudada por meio de métricas que permitem comparações. O estudo da paisagem fornece informações para a melhor explicação desse fenômeno biológico (COUTO, 2004). Além de conhecer o fenômeno, é fundamental entender como ele se relaciona

com os diversos elementos que compõe a paisagem, permitindo melhorar o desempenho das técnicas de manejo.

Os pesquisadores do IAP (2009) sugeriram que a minimização dos danos pode estar relacionada com a organização espacial dos talhões de pinus e das áreas naturais, ou seja, ao manejo da paisagem. Agregar conhecimento acerca dessa relação biológica permite embasar medidas de controle. Uma medida de controle eficiente é aquela que considera a descrição completa do fenômeno, das suas interações e das espécies envolvidas.

Sobre o macaco-prego (*S. nigritus*), muito se conhece a seu respeito (IZAR, 2004; MENDONÇA-FURTADO, 2012; FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, 2014; SANTOS, 2015). *Sapajus nigritus* ocorre naturalmente no Sudeste e Sul do Brasil e no Noroeste da Argentina (FOGAÇA, 2014). Ele está classificado na categoria “Próximo a ameaça – NT” (IUCN, 2019), pois suas populações encontram-se em declínio. Hass (2012) identificou que, para a formação Floresta Ombrófila Mista, há grande dificuldade em registrar macacos-prego, que pode estar relacionada ao número pequeno de populações. Esses motivos demonstram que não há justificativas técnicas para controlar a população de macacos-prego. O controle dos danos é uma tarefa mais relacionada ao manejo florestal do que ao manejo de fauna.

Testes de controle dos danos foram realizados, como, por exemplo, a oferta artificial de alimentos para os macacos-prego; o uso de aceiros ou cercas vivas com outras espécies florestais, cercando talhões de pinus; e o enriquecimento das áreas florestais naturais com espécies apreciadas pelos macacos-prego (MIKICH *et al.*, 2015a).

Desde a descrição do problema por Koehler e Firkowski (1996) até o presente momento, muitos estudos foram publicados trazendo o resultado da caracterização dos danos e da quantificação das perdas, sempre avaliando plantios danificados, ou seja, com o foco em uma visão posterior a ocorrência dos danos (KOEHLER; FIRKOWSKI, 1996; ROCHA, 2000; CARVALHO, 2007; MIKICH; LIEBSCH, 2009; MIKICH; LIEBSCH, 2014a; MIKICH; LIEBSCH, 2014b; LIEBSCH; MIKICH, 2015; LIEBSCH *et al.*, 2015; LIEBSCH; MIKICH, 2017; LIEBSCH *et al.*, 2018). Contudo, não foram encontrados trabalhos que avaliam os plantios antes da identificação dos danos.

A visão antecipada tem como objetivo a aplicação de modelos de previsão, os quais servem como suporte para a tomada de decisão acerca da aplicação de técnicas

de prevenção de danos, antes que eles ocorram ou se intensifiquem. Modelos de previsão são encontrados na área florestal relacionados ao manejo de incêndios florestais, pois controlá-los pode ser oneroso e perigoso, em que a prevenção é essencial para o gerenciamento adequado (BEM, 2017).

Esses modelos são baseados no estudo das características da vegetação que tem relação com o fenômeno de interesse. O estudo da vegetação em escalas grandes é realizado com auxílio de imagens digitais, obtidas por sensores remotos. Nessas imagens, operações matemáticas são realizadas para expressar condições dos alvos. Essas operações matemáticas são conhecidas como índices de vegetação (IV) e possuem aptidão comprovada para os estudos na área florestal (PERTILLE, 2019).

O valor obtido com os IV alimenta modelos de previsão. Quando o fenômeno estudado possui característica dicotômica, os modelos de previsão podem ser gerados a partir da Regressão Logística Dicotômica, a qual atribui como resposta um valor de probabilidade de ocorrência do evento (FÁVERO *et al.*, 2009). Com base nesse resultado, as decisões acerca do manejo são tomadas.

Para facilitar a interpretação dos resultados obtidos nesse estudo, recomenda-se utilizar como referência da significação dos termos existentes em cada texto o Dicionário de termos florestais elabora do pela Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF, 2018).

Com base no exposto, definiram-se as seguintes hipóteses que nortearam esta pesquisa:

- Paisagens mais fragmentadas influenciam na ocorrência dos danos?
- A relação entre o animal e a planta que motiva o dano pode ser prevista?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os atributos da paisagem relacionados ao uso de *Pinus taeda* L. por macaco-prego (*Sapajus nigritus* Goldfuss) e desenvolver um modelo para avaliação de risco de ataque pelo primata.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as métricas da paisagem e sua relação com os danos de macaco-prego às árvores de *P. taeda*.
- Analisar, por meio de Índices de Vegetação, a predisposição dos plantios de *P. taeda* aos danos de macacos-prego.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em Santa Catarina, a madeira usada como matéria-prima, até meados da década de 1970, era proveniente das florestas naturais que recobriam o estado, em sua totalidade, pertencentes ao domínio do bioma Mata Atlântica (KLEIN, 1960; KLEIN, 1978).

Com a redução do estoque florestal e aumento da demanda para o abastecimento das indústrias, essa fonte foi substituída pelos pinheiros de rápido crescimento, originários do Sul dos Estados Unidos (gênero *Pinus*), e incentivados pelo governo federal com políticas de isenção e incentivo fiscal (DOSSA *et al.*, 2002).

A inserção de espécies exóticas de ciclo longo no estado criou novos ambientes, dos quais surgiram relações ecológicas entre a biota local e as espécies cultivadas. Algumas dessas relações geraram conflitos. Um caso bastante conhecido são os danos causados por *Sapajus nigritus* (Macaco-prego) às árvores de pinus, que serão abordados nesta revisão de literatura, a qual inicia pela organização taxonômica.

3.2 ORDEM PRIMATAS E A FAMÍLIA CEBIDAE

Acredita-se que a ordem Primatas, descrita por Linnaeus em 1758 (GROVES, 2005), tenha surgido há aproximadamente 90 milhões de anos no período Cretáceo. Mundialmente, são reconhecidos 703 táxons de primatas pertencentes a 79 gêneros. Novas espécies e subespécies são continuamente descritas: 118 desde 1990, sendo 92 desde 2000 (PRIMATE SPECIALIST GROUP, 2018).

Dessa diversidade em escala global, 392 espécies são consideradas ameaçadas de extinção nas categorias “criticamente em perigo” (CR) (n=101), “em perigo” (EN) (n=179) e “vulnerável” (VU) (n=112) (IUCN, 2019). Esse contexto de grande ameaça fez dois táxons tornarem-se extintos, são eles: o *Xenothrix mcgregori* Williams e Koppman (Macaco-jamaicano) e o *Palaeopropithecus ingens* Grandidier (Lêmure-preguiça-gigante) (MACPHEE; HOFFMANN, 2008; HOFFMANN, 2008).

A ordem Primatas está naturalmente distribuída nas regiões equatoriais de três continentes (América, África e Ásia), nos demais somente registros fósseis são

encontrados. Esses animais não ocorrem naturalmente nos pólos, ou em latitudes extremas. Na região neotropical estão descritos 216 táxons (CPB, 2012). Na América do Sul são encontradas 68 espécies ameaçadas de extinção, 22 delas na categoria “ criticamente em Perigo (CR)”, como é o caso do *Brachyteles arachnoides* Geoffroy (Mono-carvoeiro), uma espécie da Mata Atlântica.

O Brasil apresenta uma diversidade de aproximadamente 140 espécies, das quais 40 são consideradas ameaçadas de extinção (CR=7, EN=15 e VU=18) (IUCN 2019). Dentre as cinco famílias de primatas existentes no Brasil, Cebidae apresenta a terceira maior riqueza de espécies. Ela abriga os gêneros *Cebus*, *Sapajus* e *Saimiri*.

Os dois primeiros possuem características que permitem a fácil identificação, especialmente a presença ou ausência de tufo de pelos na região frontal da cabeça e a crista sagital nos crânios dos machos adultos (LIMA, 2016). Até recentemente, todas as populações de macaco-prego (Cebidae, Catarrhinae, Mammalia) eram consideradas uma única espécie, *Cebus apella*, com diversas subespécies (MENDONÇA-FURTADO, 2012).

Lynch Alfaro *et al.* (2012), no desenvolvimento de seus estudos genéticos, morfológicos e de ecologia, verificaram que as subespécies existentes dentro do grupo dos macacos-prego e cairaras possuíam separação maior do que a esperada, ou seja, ao nível de gênero. Estima-se que esse processo tenha ocorrido pela separação de grupos no momento em que o Rio Amazonas tenha se formado, cerca de 7 milhões de anos antes do presente. Nesse processo, o gênero *Sapajus* seguiu em direção ao Sul do país, permanecendo o gênero *Cebus* na região de origem.

3.3 O GÊNERO *Sapajus* E A ESPÉCIE *Sapajus nigritus*

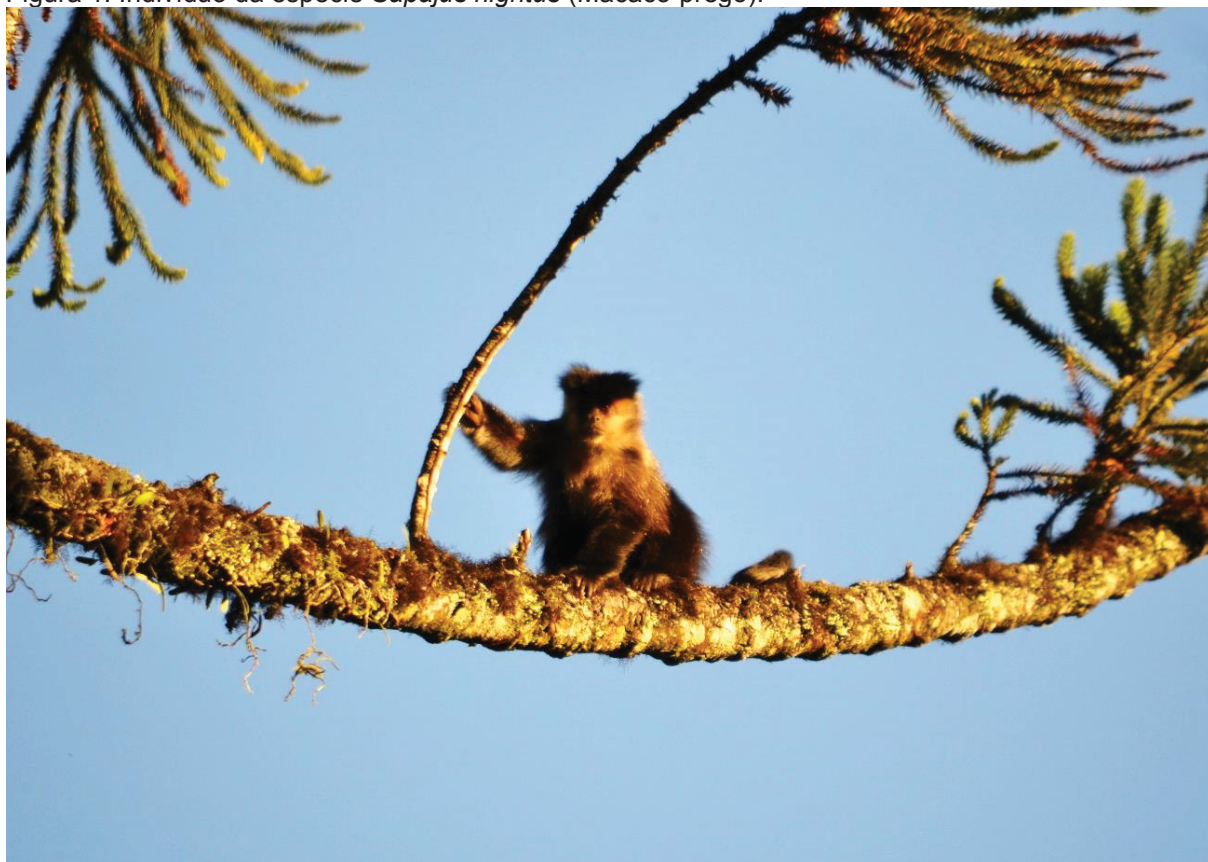
A história evolutiva dos macacos-prego mostra que, durante o processo de vicariância, o gênero *Sapajus* teria acessado a área atual pertencente à Mata Atlântica, cerca de 2,7 milhões de anos antes do presente e uma das primeiras espécies a surgir teria sido o macaco-prego *S. nigritus* (LYNCH ALFARO *et al.*, 2012).

Atualmente, o gênero *Sapajus* abriga oito espécies (*S. apella* Linnaeus, *S. macrocephalus* Spix, *S. libidinosus* Spix, *S. cay* Illiger, *S. nigritus* Goldfuss, *S. robustus* Kuhl, *S. xanthosternus* Wied-Neuwied e *S. flavius* Schreber), e duas subespécies (*S. apella* ssp. *apella* e *S. apella* ssp. *margaritae*) que possuem distribuição exclusiva na

América do Sul, incluindo todo o Brasil, parte do Paraguai e da Argentina, além de todo domínio da Floresta Amazônica (RYLANDS *et al.*, 2013).

O *S. nigritus* é um mamífero arbóreo de médio porte (3 a 4 kg), com cauda semi-preênsil (Figura 1), normalmente é encontrado no estrato médio da floresta, distante do chão, porém pode acessar o solo para busca de alimento ou deslocamento (FOGAÇA, 2014).

Figura 1. Indivíduo da espécie *Sapajus nigritus* (Macaco-prego).



Fonte: O autor (2019).

Esses animais possuem elevado desenvolvimento cefálico, que permite formar memória geográfica, além de serem capazes de utilizar ferramentas para manipulação de alimentos difíceis de acessar, como por exemplo as castanhas (FRAGASZY *et al.*, 2004).

São animais sociais que formam grupos numerosos com até 30 indivíduos. Essa estrutura social dos grupos de macacos-prego, segundo Rangel *et al.* (2013), sugerem a existência de frequente interação agonística física intraespecífica, que se reflete em conflitos intergrupais. Tais conflitos podem gerar exclusão de membros, morte de concorrentes e delimitação de áreas de forrageio.

Por conta da recente descoberta nos estudos filogenéticos, que resultou na segregação do gênero *Sapajus* e consequentemente de suas espécies (LYNCH ALFARO *et al.*, 2012), por esse motivo são encontrados trabalhos acadêmicos publicados em período anterior a essa descoberta que tratam *Sapajus nigritus* como *Cebus nigritus*, ou ainda, *Cebus apella* (GALETTI; PEDRONI, 1994; LUDWIG *et al.*, 2005). Por terem gerado essa divisão, em muitas espécies cada vez mais são encontradas características em *Sapajus nigritus* que não são encontradas em outras espécies.

Essa percepção é corroborada por outros pesquisadores. Um exemplo que pode ilustrar essa constatação foi levantado por Izar (2004), avaliando *S. nigritus* na Mata Atlântica. A autora observou um sistema social diferente do descrito para a espécie, que, naquele momento, ainda era tratada como pertencente ao gênero *Cebus*.

Naquela situação, as fêmeas transferiam-se entre grupos e apresentavam relações de dominância, com organização de hierarquia parcial, não formando grupos coesos. Essa conclusão trouxe grande avanço para o entendimento da dinâmica intragrupal de *S. nigritus*, principalmente pelo fato de que fêmeas são ativas na passagem do conhecimento, na dominância parcial e na variabilidade do grupo.

O estudo de Hass (2012) traz outro exemplo das diferenças existentes entre comportamentos identificados. São encontrados muitos relatos, sinalizando os macacos-prego como animais adaptados ao convívio em locais alterados (LIBIESCH; MIKICH, 2014). Hass (2012), estudando primatas na fitofisionomia Floresta Ombrófila Mista (FOM), encontrou a simpatria entre *Alouatta clamitans* (Bugio-ruivo) e *S. nigritus* (Macaco-prego), definindo que, para essa formação florestal, há uma relativa facilidade em encontrar grupos de bugios e uma grande dificuldade em registrar macacos-prego.

Ademais, Hass (2012) salientou que aparentemente o bugio-ruivo demonstra uma flexibilidade ecológica e alimentar maior do que o macaco-prego no local de estudo (FOM). Além disso, o autor complementou que, pelas características de clima, aspectos botânicos e fitossociológicos das matas de FOM, a utilização pelo macaco-prego (*S. nigritus*) pode ter características específicas, inferindo que os animais podem sair desses locais, utilizando corredores ecológicos e seguindo para remanescentes de Floresta Ombrófila Densa (FOD) e da Floresta Estacional Decidual (FED) em determinadas épocas do ano (HASS, 2012).

Macacos-prego possuem suas populações controladas por carnívoros terrestres e voadores. No solo, os principais predadores de *S. nigritus* são: *Leopardus pardalis* Linnaeus (Jaguatirica), *Herpailurus yagouaroundi* Geoffroy (Gato-mourisco), *Puma concolor* Linnaeus (Onça-parda) e *Eira barbara* Linnaeus (Irara). No ar, os rapinantes são as principais ameaças à espécie, o principal exemplo é o *Spizaetus tyrannus* Wied (Gavião-pega-macaco).

Santos *et al.* (2014) descrevem que, nas amostras fecais de onça-parda, foram encontradas três espécies de primatas (*Brachyteles hypoxanthus* Kuhl, *Alouatta guariba* Humboldt e *S. nigritus*), representando 26,7% dos itens consumidos por elas. Para jaguatirica, os macacos-prego (*S. nigritus*) corresponderam a 18,7% dos itens consumidos. Esses resultados foram considerados altos e discrepantes dos anteriormente listados na literatura.

3.4 CARACTERÍSTICAS DA DIETA DE *Sapajus nigritus*

A avaliação da dieta dos primatas é um fator que permite entender a evolução e o comportamento desses animais (SANTOS, 2015). Em uma avaliação mais aprofundada do ponto de vista ecológico, à citação anterior, tem-se que: é preciso diferenciar qual é a contribuição dos itens da dieta relacionados com a aquisição de energia, buscando entender as relações que os nutrientes têm com o comportamento e a ecologia dos primatas. Ou seja, a avaliação deve ter um contexto mais amplo e menos puramente abastecedor para que seja possível explicar diferentes fenômenos da vida animal.

Os macacos-prego da espécie *S. nigritus* apresentam dieta onívora, com exploração bastante diversificada. Mikich *et al.* (2015b) avaliaram a dieta de *S. nigritus* na Mata Atlântica do estado do Paraná por meio de amostras fecais e os relataram que 76% das amostras continham sementes intactas e 90% continham restos de artrópodes, sendo 96% insetos de espécies da Mata Atlântica.

Com base nos resultados dos estudos de Miranda *et al.* (2013), os alimentos frequentemente consumidos por *S. nigritus* tem maior teor de umidade (exemplo: xaxim com 90,13%), lipídios (exemplo: pau-de-remo com 1,15%) e baixo teor de fibras (exemplo: maracujá-doce com 6,67%). Para essa última constatação, Delgado (2013) explica que os macacos-prego (*Sapajus* spp.) não possuem relações simbióticas com

bactérias, que permitem a digestão da celulose, reforçando a menor busca por alimentos fibrosos.

A forma com que *S. nigritus* explora o ambiente ao longo do ano permite uma importante variação na dieta em diferentes períodos, formando mudanças proporcionais, mesmo em situações onde os diferentes itens alimentares continuam aparecendo (FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, 2014).

Na Mata Atlântica a variação na dieta, está mais relacionada a sazonalidade fenológica das plantas que compõe cada fitoformação, fazendo com que os alimentos encontrados variem ao longo do ano e de acordo com as fitofisionomias do bioma (MENDONÇA-FURTADO, 2012). Essa indisponibilidade temporária de um determinado item faz com que alterações nos padrões espaciais de exploração ocorram.

Fernández-Bolaños (2014, p. 109) faz uma grande contribuição avaliando ecologia e dieta de *S. nigritus*, o que explica os padrões espaciais encontrados na Mata Atlântica.

Tipos de padrões espaciais, em relação à presença de alimento agregado e disperso na dieta de *Sapajus nigritus*:

1) Quando o consumo foi baseado em fontes dispersas, os macacos-prego se movimentaram pouco, o tamanho da área foi pequeno e o espaço foi utilizado de forma mais homogênea. Podemos explicar os resultados da seguinte forma: as fontes dispersas são mais frequentes no ambiente, e proporcionam menos energia, assim, não é vantajoso investir um grande esforço para explorar um espaço maior. Esses padrões concordam com a estratégia maximizadora de energia (STRIER, 2003)¹.

2) Quando o alimento agregado foi consumido em maior proporção as áreas ocupadas não foram grandes, mas a distância diária percorrida (DDP) foi comprida. Quando os recursos agregados são mais abundantes no ambiente, esses não se distanciam muito entre si, sendo desnecessário ampliar a superfície abrangida (ZHANG, 1995)². O grande comprimento da DDP poderia ser assim explicado: primeiro, porque o aporte de energia do recurso agregado permitiria esse gasto de energia. Segundo, se contamos com uma distância percorrida comprida em uma área pequena, significaria que o caminho foi muito embrulhado, resultando numa maior sobreposição espacial. Presotto (2009)³ estudou os desvios angulares em relação ao deslocamento perfeitamente linear, e mostrou que o desvio era maior quando os trajetos dos macacos tinham como objetivo uma fruteira. Talvez essas mudanças de direção impeçam o crescimento da área, embora o caminho seja comprido. Por último, os índices de uso do espaço indicaram um padrão mais agregado, ou seja, os macacos permaneceram muito tempo em umas partes, e pouco em outras, esse padrão poderia ser o reflexo de partes onde forragearam e partes que simplesmente atravessaram.

¹ Strier, K. B. Primate behavioral ecology. Boston: Allyn and Bacon. 2003.

² Zhang, S. Y. Activity and ranging patterns in relation to fruit utilization by brown capuchins (*Cebus apella*) in French Guiana. International Journal of Primatology, 16(3), 489-507. 1995.

³ Presotto, A. Mapas cognitivos de primatas: análise de movimentos e rotas de *Cebus nigritus*, apoiada por sistemas de informação geográfica- 150f - Tese (doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, SP. 2009.

3) Quando a dieta era constituída de itens agregados e itens dispersos, as áreas exploradas eram grandes, mas a DDP não acompanhou esse crescimento. Uma possível explicação é que as fruteiras, sendo mais escassas no ambiente, estariam mais afastadas umas das outras, precisando de uma maior superfície para ser abrangidas (STRIER, 2003)¹. Os motivos pelos quais a DDP não foi tão comprida poderia ser devido ao menor consumo de fontes agregadas que implicaria menos energia para investir no deslocamento.

4) Estudos anteriores com *Sapajus nigritus* no Parque Estadual Carlos Botelho sugerem que macacos-prego têm conhecimento de onde se encontram essas fontes afastadas, podendo atingi-las desde diferentes lugares de forma bastante linear, o que explicaria o aumento da área, economizando a DDP (PRESOTTO E IZAR, 2010)⁴.

Em suma o uso do ambiente por *S. nigritus* é guiado pela distribuição espacial dos recursos existentes e pela sua disponibilidade (estoque). Um parêntese deve ser aberto nesse momento, pois em determinadas situações, quando os plantios de pinus estão inseridos no contexto da paisagem, e esses plantios são reconhecidos pelos animais como uma alternativa alimentar as estratégias de forrageamento e deslocamento nos momentos de baixa produtividade no ambiente natural, podem se modificar.

Essas pressões de sazonalidade de alimentos e intergrupais forçariam a adaptação ontogenética, que é uma adaptação de acordo com o histórico de desenvolvimento e aprendizagem em um contexto sociocultural (SANTOS, 2015).

Retoma-se aqui a característica anteriormente citada que afeta diretamente o processo de interpretação do ambiente, a grande capacidade de memória geográfica do gênero *Sapajus* pelo alto coeficiente de encefalização. Essa afirmação faz bastante sentido quando são avaliadas as integrações de tempo e espaço em um mapa mental de fontes alimentares (SEVGHENIAN, 2012).

3.5 HISTÓRICO DO USO DE PINUS POR PRIMATAS NO BRASIL

Mikich e Liebisch (2009, p.2) caracterizam os danos por macacos-prego como janelados ou anelados.

Retirada da casca (ritidoma) em tiras longas, geralmente no terço superior do tronco, em dois tipos básicos de padrão. No padrão “janela”, apenas uma face do tronco é danificada, enquanto no padrão “anelado” o descascamento se dá em toda a circunferência do caule, causando um anelamento, em um ou mais verticilos. Independente do padrão do dano, no entanto, o objetivo do animal é o consumo de seiva elaborada. Para tanto, após a remoção da

⁴ Presotto, A.; Izar, P. Spatial reference of black capuchin monkeys in Brazilian Atlantic Forest: egocentric or allocentric? *Animal Behaviour*, 80(1), 125-132. 2010

casca, raspa com os dentes o tecido (floema) que abriga os vasos que conduzem a seiva, interrompendo a sua condução.

Os relatos de danos causados por macacos-prego a árvores são muito antigos. Produtores florestais reforçam que danos às plantações de *Pinus* spp. já acontecem desde a década de 1950 (LIMA, 1993; ROCHA, 2000). Exatamente com a expansão dos reflorestamentos no Sul do Brasil, onde o principal gênero plantado foi o *Pinus*, principalmente pela sua adaptabilidade edafoclimática, é que os danos se intensificaram. Os danos foram identificados nas regiões dos planaltos, principalmente nos estados do Paraná e Santa Catarina, e em menor intensidade nos estados do Rio Grande do Sul e São Paulo, além da Argentina (MIKICH *et al.*, 2015a).

Oficialmente uma das publicações mais antigas que explora o tema, dentro do território nacional, pertence a Koehler e Firkowski (1996) e é intitulada: “Descascamento de pinus por macaco-prego (*Cebus apella*)”, publicada na Revista Floresta, no ano de 1996. O manuscrito traz a descrição dos danos e os relatos dos encontros com os animais.

Ao final, os autores enfatizaram que “Todas as informações e dados compilados durante o período deste trabalho têm seu valor por serem inéditos. São, porém, primários e gerais demais para permitir a formulação de uma proposta de ação efetiva que vise atenuar ou evitar o problema”. (KOEHLER; FIRKOWSKI, 1996, p. 12).

Após esse período, Rocha (2000) traz uma publicação intitulada “Macaco-prego, como controlar essa nova praga florestal?”, e relaciona três hipóteses para explicar a ocorrência dos danos nas árvores de pinus: “1ª Os animais são atraídos aos Pinus devido à alta palatabilidade da resina; 2ª Existe uma escassez de recursos naturais forçando os animais a procurar novas fontes de alimentos; 3ª Existe um aumento populacional dos macacos devido à ausência de predadores e alta disponibilidade de recursos.” (ROCHA, 2000, p. 96).

No mesmo ano dessa publicação, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) sediou um evento, demandado do setor florestal do Sul do Brasil, com o objetivo de expor o problema gerado pelo macaco-prego. A conclusão para aquele momento foi de que havia necessidade da realização de mais pesquisas, pois as informações disponíveis no Brasil ainda não eram suficientes para entender o problema e subsidiar ações de manejo.

No ano de 2003 surgiu o Programa Macaco-prego. Esse programa foi a formalização da parceria entre a EMBRAPA Florestas com o setor florestal, representado pelas empresas reflorestadoras, principalmente as que plantam pinus. Da atuação do Programa Macaco-prego é que saíram o maior número de publicações acerca do tema, lideradas por MIKICH e LIEBSH. Um dos exemplos de descobertas provenientes do Programa Macaco-prego foi o registro de danos em outro gênero comercialmente plantado, o *Eucalyptus* (LIEBSCH; MIKICH, 2015).

Em 2017, Liebsch e Mikich trouxeram uma contribuição acerca das espécies de pinus que *Sapajus nigritus* tem preferência, mostrando que *Pinus greggii* Engelman e *P. taeda* são os mais consumidos pelos animais e que *Pinus palustris* Mill. e *Pinus patula* Schldt são as espécies mais evitadas. Esses autores recomendam inclusive a substituição dos plantios de *P. taeda* por *P. patula* nos locais de grande ocorrência de danos (LIEBSCH; MIKICH, 2017).

A explicação dessa predileção ainda não está explícita, uma vez que Almeida (2012), testando a composição da seiva de *P. taeda* e *P. patula*, não encontrou diferenças significativas na composição química da seiva dessas espécies. A conclusão mais aceita até o momento está na oferta de alimento, ou seja, *P. taeda* é a espécie de pinus mais plantada no Brasil (ABRAF, 2013), sendo assim, a maior incidência de danos em *P. taeda*, comparado a outras espécies de pinus, deve-se pela ampla oferta do recurso.

3.6 PESQUISAS REALIZADAS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA NO BRASIL

Muitos testes foram conduzidos a fim de mitigar ou eliminar os danos causados por macacos-prego às árvores no Brasil. Os mais recentes estão focados no enriquecimento de florestas naturais com espécies de plantas que produzem frutos (LIEBSCH *et al.*, 2018).

Além do plantio de mudas para o enriquecimento de florestas secundárias, são encontrados trabalhos focados na avaliação de plantas que possam cobrir os períodos naturais de escassez de alimentos nas florestas naturais. Um exemplo é o estudo desenvolvido por Agostin *et al.* (2008), o qual avaliou a genética das variedades de araucária, com o objetivo de subsidiar programas de restauração florestal, com genótipos que tenham fenologia reprodutiva em diferentes épocas.

O projeto Macaco-prego apresenta um compilado de propostas técnicas e uma conclusão acerca da viabilidade para resolução do problema, que pode ser visualizado no Quadro 1, adaptado de Mikich *et al.* (2015a, p. 10).

Quadro 1. Resumo das técnicas de manejo para reduzir os danos causados por macacos-prego aos plantios de pinus no Brasil (Continua...).

Técnica	Eficiência	Motivos
Retirada de animais das áreas-problema	Não	(1) os macacos-prego são importantes para a manutenção das florestas naturais, pois são dispersores de sementes e predadores de insetos, de modo que sua retirada poderia provocar mais desequilíbrio; (2) as populações são pequenas; (3) alto custo; (4) risco de transmissão de doenças.
Esterilização de animais	Não	(1) impedir a procriação da fauna nativa constitui crime ambiental; (2) o crescimento populacional baixo e as populações pequenas não fornecem base técnica para pedido de autorização; (3) alto custo.
Abate de animais via caça ou uso de venenos	Não	(1) crime ambiental previsto na Lei 9605 de 12 de fevereiro de 1998; (2) a autorização para abate teria que ser dada pelo órgão competente, mas não há base técnica, pois as populações são reduzidas e o dano não compromete a produção de alimentos; (3) o emprego de métodos capazes de provocar destruição em massa aumenta a pena.
Uso de silhuetas de predadores	Não	(1) eficiência de curta duração. Os macacos-prego rapidamente aprendem a reconhecer o engodo.
Reintrodução de inimigos naturais	Não	(1) programas de reintrodução são caros, longos e de resultado incerto; (2) populações de grandes gaviões (pega-macaco e harpia) e felinos (puma, onça) dificilmente se mantêm em ambientes alterados; (3) podem trazer risco para a pecuária, animais domésticos e o próprio homem.
Uso de aceiros ou cercas vivas com outras espécies florestais cercando talhões de pinus	Não	(1) os macacos-prego cruzam facilmente aceiros e, principalmente, cercas-vivas para acessar os plantios; (2) perda significativa de áreas de produção.
Oferta artificial de alimentos	Não	(1) os macacos-prego precisam de dieta diversificada e bem distribuída dentro do território dos diferentes grupos; (2) alto custo de manutenção e baixa eficiência.
Ronda de pessoas com a intenção de afugentar os animais	Não	(1) alto custo de manutenção; (2) perseguir espécimes da fauna silvestre também constitui crime ambiental; (3) pode apenas transferir o problema de local.
Uso de substâncias evitadas	Em desenvolvimento	(1) pesquisa focada em substâncias presentes em plantas evitadas pelo macaco-prego; (2) alguns resultados promissores, mas poderá levar vários anos até que algum produto possa ser utilizado em larga escala.

Quadro 1. Continuação...

Técnica	Eficiência	Motivos
Ordenamento florestal	Em avaliação	(1) colheita final em idades mais avançadas para plantios atacados; (2) viabilidade e efeitos de desbaste de árvores com crescimento estagnado por danos; (3) alternativas de manejo visando melhoria da rentabilidade econômica de talhões atacados; (4) aperfeiçoamento do software SisPinus para planejamento da produção em áreas com danos.
Plantio de espécies alternativas	Em avaliação	(1) algumas espécies de pinus (p.ex. <i>P. patula</i>) são pouco apreciadas ou não consumidas pelos macacos-prego; (2) essas espécies podem ser usadas em áreas com histórico de danos significativos; (3) estratégia de curto a médio prazo, podendo ser transitória.
Enriquecimento das áreas florestais naturais com espécies apreciadas pelos macacos-prego	Promissor	(1) espécies frutíferas nativas, que produzem no inverno e primavera (período de menor disponibilidade de alimento para os macacos e quando causam danos); (2) pode-se aproveitar o momento de recuperar APP, diminuindo o custo operacional; (3) estratégia de médio a longo prazo, mas tende a ser permanente; (4) baixa disponibilidade de mudas em viveiros.

Fonte: Adaptado de Mikich *et al.* (2015a) e Mikich e Almeida (2018).

As técnicas de manejo e os estudos baseados em ecologia e comportamento de macaco-prego sem dúvidas são as mais adequadas e as que permitirão uma melhor compreensão do problema, porém normalmente estão associados a resultados a longo prazo.

Já se passaram 23 anos desde a primeira publicação que descreve o problema no Brasil e muitas conclusões são encontradas, como por exemplo: a utilização de desbastes no manejo dos plantios atacados, o enriquecimento de mata nativa com espécies que sirvam de alimento ao macaco-prego, o uso de espécies de alternativas de pinus (como *Pinus patula*), porém pelo nível de complexidade de manejo do animal devido a inteligência do bicho ainda não são encontradas soluções para o problema.

Rocha (2013) citou que uma abordagem adequada sobre os aspectos envolvidos nos conflitos com a fauna silvestre é tratar o tema em maior escala espacial e incluir na discussão as populações humanas, garantindo a sinergia na resolução, evitando a desestabilização dos esforços e a perda de apoio das iniciativas locais.

3.7 OUTROS PRIMATAS CONSIDERADOS ESPÉCIE-PROBLEMA

Ao que parece, conflitos entre macacos e humanos, serão cada vez mais frequentes. Lee e Priston (2005) sinalizam que há em quase todas as famílias de primatas representantes que, em sua dieta, utilizam plantas cultivadas pelo homem como alimento.

Recentemente, Di Bitetti (2019) publicou os resultados de uma avaliação bibliográfica muito ampla, contendo 51 estudos, acerca das ocorrências de descascamento de árvores causadas por primatas. Essa revisão encontrou referências de 16 espécies de primatas que realizam a retirada da casca de espécies florestais, incluindo entre elas os humanos (*Homo sapiens sapiens* Linnaeus).

Essa citação inclui o hábito de duas comunidades tradicionais, em diferentes continentes, realizando o descascamento de árvores. Os primeiros são conhecidos como Lapões ou Sámi e estão localizados no Norte da Suécia. Eles removem a casca do tronco principal de pinheiros (*Pinus sylvestris* L.), em árvores com mais de 100 anos. Normalmente, a remoção ocorre nas faces voltadas para o Norte durante a primavera, em busca da casca viva, floema e câmbio para alimentação (ZACKRISSON *et al.*, 2000).

O segundo relato refere-se aos Gitksan, Wet'suwet'en e Haisla, localizados no centro-oeste da British Columbia, no Canadá. Nessa situação, uma grande gama de espécies é usada, como por exemplo *Tsuga heterophylla* Rafinesque, *Pinus contorta* Douglas e *Populus balsamifera* L., porém com o mesmo objetivo, alimentar-se da seiva elaborada, tendo em algumas situações indicações de usos medicinais desses compostos (GOTTESFELD, 1992).

Os motivos que levam essas populações a buscarem essa fonte, considerada um alimento básico, está na importante contribuição nutricional, provendo nutrientes essenciais, como a vitamina C, escassa pela baixa radiação solar (ZACKRISSON *et al.*, 2000).

Dos relatos apresentados por Di Bitetti (2019), o que mais se aproxima da situação que ocorre no Brasil, são os encontrados na África do Sul, local onde os plantios de pinus são compostos por espécies similares às cultivadas no Brasil. Esses relatos são, oficialmente, mais antigos dos que os encontrados no Brasil (DROOMER, 1985; VON DEM BUSSCHE; VAN DER ZEE, 1985).

Esses autores comentam que na África os danos ocorrem mesmo não havendo evidências de que a ingestão de casca seja o resultado de uma falta de alimento nas áreas naturais. Na maioria das vezes, os danos ocorrem durante longos deslocamentos nas rotas para outras fontes de alimentos. Na África do Sul vários métodos para controlar os danos foram e estão sendo testados e até o momento não apresentam resultados satisfatórios.

3.8 IMPORTÂNCIA DA PAISAGEM NA INTERPRETAÇÃO DE FENÔMENOS BIOLÓGICOS E NA RESOLUÇÃO DE CONFLITOS COM ESPÉCIES-PROBLEMA

Embora existam muitas interpretações do termo “paisagem” todas as definições incluem invariavelmente uma área contendo um mosaico de manchas ou elementos que interagem e com as espécies que a ocupam e contribuem para a explicação de fenômenos biológicos (COUTO, 2004). O importante, além de conhecer o fenômeno, é entender como ele se relaciona com os diversos elementos que compõe a paisagem. Essa interpretação gera vantagem na resolução de conflitos entre os cultivos comerciais e as espécies consideradas problema.

A paisagem pode ser analisada por três características: a estrutura, a função e a mudança. A primeira dessas características trata das relações espaciais de tamanhos, formas e configurações, interagindo com as relações ecológicas presentes nos ecossistemas e, quando associada a segunda (função) mostra o funcionamento dos ecossistemas. A última (mudança) é a dinâmica dos eventos, ou seja, permite a análise da influência temporal, comparando as alterações ocorridas ao longo do tempo e sua influência sobre a ecologia de um local.

Em uma visão mais contemporânea, Metzger (2006a) divide o estudo da paisagem (ecologia da paisagem) em atributos de disposição e composição. A disposição quantifica o arranjo espacial das unidades, permitindo avaliar o grau de fragmentação, o grau de isolamento, a conectividade dos fragmentos (manchas), a área, o formato e a complexidade das formas que compõe o mosaico da paisagem. Já a composição, retrata quais unidades (classes de uso) estão presentes, a riqueza (número de unidades) e o grau de dominância espacial (área ocupada) dessas unidades.

Há evidências que demonstram a relação entre os danos de macaco-prego em árvores de pinus, por motivos relacionados à disposição e composição da paisagem.

Mikich e Liebsch (2014) relacionam fragmentação florestal e a redução de área das florestas naturais, com a redução na oferta de alimentos e com o aumento do uso dos plantios comerciais por macaco-prego.

São estudos encontrados que avaliam a paisagem nos locais onde populações de macaco-prego foram identificadas. Um exemplo é o estudo de Hedges *et al.* (2017), o qual avalia a relação entre a paisagem e o tamanho populacional. Os autores concluem que quanto maiores são os fragmentos, maiores são as populações de macaco-prego, além disso, evidenciam em suas análises que os animais preferem ambientes florestais e com fragmentos de maior tamanho, já que possuem hábito arborícola. No entanto, não são encontrados estudos que relacionem a influência da disposição e composição da paisagem sobre os danos em plantios florestais.

A influência da disposição e composição podem ser traduzidas em valores numéricos, chamados de métricas da paisagem. As métricas da paisagem são calculadas com base em uma informação inicial de classificação de uso e cobertura da terra, obtida a partir de um mapa. Os mapas de uso e cobertura da terra podem ser produzidos por meio de classificação numérica. No entanto, exige-se acuracidade próxima a 85%, para ser considerado uma fonte de informação credível (METZGER, 2006a).

Na literatura estão disponíveis mais de uma centena de métricas para descrever a disposição e a composição de uma paisagem. No entanto, a maior parte delas é redundante, pois derivam de poucas medidas primárias que podem ser extraídas das imagens (COUTO, 2004).

A recomendação principal é trabalhar com métricas simples (METZGER, 2006a). Métricas complexas possuem interpretações complexas e podem não trazer a interpretação adequada acerca do fenômeno de interesse. O ideal, segundo Metzger (2006b), é trabalhar com métricas que medem apenas um aspecto da estrutura da paisagem, tendo relação direta com o fenômeno de interesse.

Por meio da avaliação das métricas, pode-se descrever e relacionar os atributos da paisagem a ocorrência de fenômenos biológicos e permitindo melhorar o desempenho das técnicas de manejo. Na área florestal, já foram citadas fontes às quais incentivaram o manejo da paisagem, como ferramenta de minimização dos danos de macaco-prego, tendo como indicação a organização espacial dos talhões de pinus e das áreas naturais (IAP, 2009).

Apesar de existente, essa técnica é muito mais difundida na área de agricultura de precisão, onde já são encontrados exemplos de sucesso no manejo integrado de pragas, os quais focam no manejo da paisagem como uma ferramenta para o controle de espécies problema (BIANCHI *et al.*, 2006). Na área florestal, há muito a se ganhar, aproximando a ecologia da paisagem ao manejo florestal.

3.9 APTIDÃO DOS DADOS REMOTAMENTE COLETADOS PARA AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO POR MEIO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PARA A CRIAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO

Os dados das imagens de sensoriamento remoto representam valores da energia eletromagnética refletida pelos objetos (reflectância), ou seja, o sensor remotamente situado detecta a radiação refletida pelos objetos e converte esse sinal eletrônico em um número digital (ND) atribuído a cada pixel da imagem (SILVA, 2014).

A reflectância é a propriedade de um objeto refletir a Radiação Eletromagnética (REM) que incide sobre ele (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010). Nas imagens digitais a reflectância medida pelos sensores traz a informação em diferentes posições do espectro, chamadas de bandas espectrais. O valor atribuído a cada pixel, está em uma escala de ND, que depende da resolução radiométrica da imagem, por exemplo uma imagem com resolução radiométrica de 8 bits possui 28 ou 256 ND (SILVA, 2014). Normalmente, os elevados valores de reflectância produzirão um padrão claro e valores baixos produzirão um padrão escuro. Em resumo, o valor de cada pixel, nada mais é do que a tradução da leitura da reflectância da REM, captada pelos sensores e convertida em ND (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

O estudo da vegetação por meio de dados coletados por sensores remotos é baseado na existência de relações entre respostas espectrais dos alvos e os parâmetros que caracterizam o estado fisiológico das plantas. A resposta espectral da vegetação depende tanto de fatores bioquímicos do vegetal como das características físicas do dossel (MARTINS; GALO, 2014).

A resposta espectral também é influenciada pelos pigmentos presentes na folha, tais como a clorofila a e b, carotenos, xantofilas e antocianinas (ABDEL RAHMAN, 2008). As variações na resposta espectral são explicadas pela influência que os pigmentos foliares têm sobre a absorção da radiação eletromagnética, ou pela

influência que exercem sobre os processos fisiológicos do vegetal (ABDEL RAHMAN *et al.*, 2010).

O padrão espectral dos vegetais saudáveis, na região do visível (370 a 750 nm), é caracterizado pela grande absorção da radiação eletromagnética em dois intervalos espectrais bem definidos, entre 450 nm e 520 nm (azul) e 630 nm e 690 nm (vermelho) (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Para a faixa do infravermelho, o comportamento é inverso, ou seja, a reflectância é alta e tende a aumentar com o acréscimo na quantidade de folhas, em função das múltiplas reflexões da radiação incidente nos espaços intracelulares do mesófilo foliar (MARTINS; GALO, 2014).

Entre o comprimento do visível e a faixa do infravermelho, estão posicionadas as bandas *Red-edge* e infravermelho próximo (NIR). A posição das bandas *Red-edge* coincide com o aumento brusco de reflectância da vegetação fotossinteticamente ativa na faixa de transição entre o vermelho e o NIR (PEREIRA *et al.*, 2016).

Absorver ou refletir essa radiação é reflexo da atuação da clorofila, já que esse pigmento foliar é caracterizado como o fotorreceptor principal (PONZONI, 2001). A absorção da radiação solar pelos pigmentos da folha é equivalente a aproximadamente 50% da radiação que chega à planta, essa energia participa do processo de fotossíntese, alterando as estruturas moleculares da planta (fotoconversão) (PERTILLE, 2019).

Em um passado próximo, o desafio era a disponibilidade e o custo dos dados para avaliar a vegetação, principalmente nas situações em que as bandas *Red-edge* eram necessárias. Atualmente são encontradas muitas fontes de gratuitas de dados obtidos por sensores remotos. Um exemplo, são as imagens obtidas pelo sensor embarcado no satélite Sentinel-2.

O Sentinel-2 é uma missão de imageamento multiespectral que possui alta frequência de revisita no Equador (5 dias). Além disso, transporta um instrumento óptico que captura informação separada em 13 bandas espectrais. Tem grandes vantagens quando comparado às missões Landsat, pois além de possuir maior resolução espacial (10 m para algumas bandas), traz a resposta espectral na faixa da borda do vermelho (*Red-edge*) com resolução radiométricas de 12 bits (0 a 4095 DN). É uma plataforma recente, em órbita desde junho de 2015, ou seja, um fator limitante para avaliações em datas anteriores (ESA, 2019).

Para dar condições de uso aos dados, correções radiométricas precisam ser feitas, já que a atmosfera interfere na resposta espectral de cada alvo captado pelo

sensor (SILVA, 2014). Para os dados dos sensores Sentinel-2, há um aplicativo computacional denominado SEN2COR (ESA, 2019) que realiza as correções radiométricas, com base na técnica de CHAVEZ (1988), conhecida como subtração do pixel escuro (DOS). Após realizadas as correções as imagens estão prontas para o uso.

Um exemplo de uso é a avaliação das relações funcionais entre as características da vegetação e dados coletados remotamente, os quais tem sido meta de muitos estudos de vegetação, e levaram à criação de combinações específicas de bandas espectrais, os chamados Índices de Vegetação (IV) (MARTINS; GALO, 2014; PERTILLE, 2019).

Os IV são combinações matemáticas da resposta espectral dos alvos, em determinadas faixas do espectro (bandas) que amplificam a resposta do comportamento biológico avaliado. Os IV comumente empregados na avaliação do vigor e da sanidade vegetal utilizam a informação de reflectância nas regiões espectrais entre o vermelho e infravermelho próximo (JENSEN, 2009), principalmente por serem sensíveis ao funcionamento fisiológico dos vegetais, estando em consonância com o crescimento e vigor da vegetação e também com a atividade fotossintética e produtividade (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Há uma série de IV que tem aplicação no estudo do vigor das plantas, sejam eles com relação diretamente ou inversamente proporcional. O índice de vegetação mais difundido para o estudo da vegetação é o NDVI que foi proposto por Rouse *et al.* (1973). Apesar de ser o índice mais usado, o NDVI é criticado pelo excesso de saturação da imagem (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010) o que prejudica as avaliações da vegetação. O uso de índices que possuem em sua equação bandas de *Red-edge* vem para solucionar esses problemas e melhorar a interpretação dos resultados (PEDRALI, 2019).

Gitelson *et al.* (2001) criaram índices relacionados ao teor de antocianina na folha, denominado Índice de Reflectância de Antocianina 1 (ARI1 e ARI2), essa medida está inversamente relacionada ao vigor das plantas, ou seja, quanto menor o teor de antocianinas mais vigorosos são os vegetais. Assim como o anterior, o Índices de Reflectância de Carotenóides (CRI2), avalia a diferença entre a reflectância de carotenóides e clorofila na faixa espectral de 510 nm (GITELSON *et al.*, 2002) e é uma medida antagônica ao vigor dos vegetais.

Ainda com relação inversamente proporcional ao teor de clorofila, a relação entre as bandas *Red-edge* e infravermelho próximo proporcionou o desenvolvimento do Índice de Clorofila *Red-edge* (CHR) (GITELSON *et al.*, 2003). Incrementando um pouco a equação, e incluindo a banda vermelha criou-se uma adaptação do Índice de Clorofila *Red-edge*, chamado Índice de Clorofila Modificado do Vermelho e da Borda Vermelha (CHRR), o qual é diretamente proporcional a quantidade de clorofila na folha (XIE *et al.*, 2018).

Um dos índices criados especialmente para utilizar as bandas *Red-edge*, é chamado de Índice de Clorofila da Borda Vermelha Invertida (IRECI), o qual possui em sua equação todas as bandas *Red-edge* disponibilizadas pelo sensor Sentinel-2 e também a banda vermelha, o que evita a saturação e traz uma relação diretamente proporcional ao vigor vegetal (FRAMPTON *et al.*, 2013).

O Índice de Reflectância Modificado da Absorção da Clorofila-a (MCARI), proposto por Daughtry *et al.* (2000) resulta nas taxas de absorção realizadas pela clorofila-a, porém não é recomendado para vegetação pouco densa, não é o caso do presente estudo, já que a copa de pinus, a partir do quarto ano de idade é bastante densa e ocupa grande parte do dossel. Assim com o anterior o Índice de Clorofila Terrestre MERIS (MTCI) (DASH; CURRAN, 2004), que resulta de três bandas de ondas vermelhas e na região do NIR, é recomendado para estimar o teor de clorofila das plantas.

O Índice de Vegetação da Razão Simples para Pigmentação Específica (PSSRa) criado por Blackburn (1998) tem o objetivo de avaliar estágios de senescência das plantas. Por mais que seja indicado para avaliar senescência, esse índice tem forte correlação com a concentração de clorofila e fraca correlação com as concentrações de carotenoides na folha. Ao contrário do PSSRa, o Índice de Reflectância da Senescência da Planta (PSRI) proposto por Merzylac *et al.* (1999) avalia a senescência da planta com correlação forte com a concentração de carotenoide na folha.

Como o índice NDVI apresenta limitações, pesquisadores vem ao longo do tempo alterando sua configuração com o objetivo de melhorar o seu desempenho. Assim surgiu o índice NDI45 criado por Delegido *et al.* (2011), o qual usa bandas de *Red-edge* ao invés de bandas no infravermelho próximo melhorando a performance do índice.

Buscando mais melhorias nos resultados do NDVI, com a utilização de bandas *Red-edge*, Fernández-Manso *et al.* (2016), criaram o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da Borda Vermelha (NDVIR) o qual substitui a banda vermelha por uma banda *Red-edge*. Já Xie *et al.* (2018), implementou mais uma modificação no índice anterior, criando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do Vermelho e da Borda Vermelha (NDVIRR) gerando um forte contraste das reflectâncias entre o vermelho e o infravermelho. Já que a combinação de informações espectrais vermelhas e infravermelhas reduz a saturação da imagem.

O Índice de Posição da Borda do Vermelho do Sentinel-2 (S2REP) também obtido do estudo de Frampton *et al.* (2013) têm resultados similares aos obtidos com o IRECI, ou seja, possui correlação com a concentração de clorofila nas folhas. O S2REP foi um índice adaptado para a aplicação em dados Sentinel-2 o qual usa a interpolação das bandas de *Red-edge*. Outro índice modificado foi o Índice de Vegetação Melhorado da Borda Vermelha (REEVI) o qual é uma modificação do EVI-2 (ABDEL-RAHMAN *et al.*, 2017), que usa a banda *Red-edge* ao invés da banda vermelha (ADAN, 2017).

Todos esses índices citados, usam produtos obtidos por meio de imagens de satélite que contenham bandas *Red-edge* e que estejam processadas, para que reflitam a informação do topo do dossel, nível 2A, já que em sua obtenção os sensores captam a reflectância no topo da atmosfera, nível 1C. O nível 2A inclui produtos com correções radiométricas: correção de velocidade, exclusão de pixels defeituosos, calibração relativa e absoluta e com correções geométricas (ESA, 2019).

Ainda há outros produtos que podem ser obtidos das imagens digitais de nível 2B, é o caso das variáveis biofísicas. Esse nível inclui correções atmosféricas e algoritmos de recuperação de variáveis geofísicas. Um exemplo de variável biofísica obtida dos dados Sentinel-2 é o teor de clorofila da folha (Cab), o qual é um indicador da atividade fotossintética (SILVEIRA, 2018) e capacidade de produção de fotoassimilados das plantas.

O esforço para compreender a relação entre os fenômenos biológicos e as repostas espectrais da vegetação obtidas a partir de sensores remotos, só faz sentido quando usamos essa informação para subsidiar o manejo florestal. O manejo de culturas compreende o uso de múltiplas estratégias, incluindo, quando possível, sistemas de monitoramento preventivo e sistemas baseados em modelos de

simulação para a previsão de fenômenos e auxílio na tomada de decisões (CERBARO *et al.*, 2015).

Modelos de previsão são amplamente usados na área florestal, principalmente para o manejo de incêndios florestais. O gerenciamento de incêndios florestais, por meio dos modelos de previsão, permite a determinação de zonas prioritárias, onde nelas, uma série de medidas de precaução pode ser empregada para reduzir a chance da ocorrência de incêndios (BEM, 2017). Essa mesma analogia pode ser feita com os danos de macaco-prego às árvores de pinus.

Quando o fenômeno estudado possui característica dicotômica, ou seja, a soma dos fatores biológicos relacionados ao problema gera duas possibilidades de resultado (presença ou ausência), podem ser gerados modelos de previsão obtidos a partir da Regressão Logística Dicotômica. Para a área florestal são conhecidos alguns exemplos de modelos de previsão que usam a Regressão Logística em incêndios florestais (BISQUERT *et al.*, 2011; VILAR DEL HOYO *et al.*, 2011; MOHAMMADI *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2016).

Esses modelos são baseados no estudo das características da vegetação e mostram que os modelos gerados por Regressão Logística são uma forma eficaz de prever a ocorrência do fenômeno de interesse. As características da vegetação podem ser obtidas por meio dos IV, principalmente pela disponibilidade desses dados em grande escala espacial e pela frequência de disponibilização (escala temporal).

Entretanto, o sucesso operacional desses sistemas de previsão depende de uma série de fatores, dentre eles a redução da complexidade e execução e interpretação dos resultados, a portabilidade das soluções, o custo de implementação e o interesse ou aversão ao risco por parte dos usuários (CERBARO *et al.*, 2015).

REFERÊNCIAS

ABDEL-RAHMAN, E. M.; AHMED, F. B. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid) production: a review of the literature. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 13, p. 3753-3767, 2008.

ABDEL-RAHMAN, E. M.; AHMED, F. B.; BERG, M. V. D.; WAY, M. J. Potential of spectroscopic data sets for sugarcane thrips (*Fulmekiola serrata* Kobus) damage detection. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 15, p. 4199-4216, 2010.

ABDEL-RAHMAN, E. M.; LANDMANN, T.; KYALO, R.; ONG, G.; MWALUSEPO, S.; SULIEMAN, S.; LE, B. Predicting stem borer density in maize using RapidEye data and generalized linear models. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 57, p. 61-74, 2017.

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico Ano Base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013.

ADAN, M. S. **Intergrating Sentinel-2 derived vegetation indices and terrestrial laser scanner to estimate aboveground biomass/carbon in ayer hitam tropical forest Malaysia**. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Geo-informação) - Universidade de Twente, Enschede, 2017.

AGOSTIN, P. T.; SOUZA, V. A. de; MIKICH, S. B.; LIEBLICH, D. Estudo genético de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. como base para um programa de controle dos danos causados pelo macaco-prego aos plantios comerciais de *Pinus* spp. In: **Anais VII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas**, Colombo, PR, 2008.

ALMEIDA, A.; MIKICH, S. B.; HELM, C. V. Caracterização química da seiva de quatro espécies de pinus em área com ocorrência de descascamento por macaco-prego. In: **Anais do XII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas**. Documentos nº 240. Colombo, PR. 2012.

BEM, P. P. de. **Previsão de vulnerabilidade a incêndios florestais utilizando regressão logística e redes neurais artificiais: um estudo de caso no Distrito Federal Brasileiro**. 2017. 39 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

BIANCHI, F. J. J. A.; BOOIJ, C. J. H.; TSCHARNTKE, T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, p. 1715-1727, 2006.

BISQUERT, M. M.; SÁNCHEZ, J. M.; CASELLES, V. Fire danger estimation from MODIS Enhanced Vegetation Index data: Application to Galicia region (north-west Spain). **International Journal of Wildland Fire**, v. 20, n. 3, p. 465-473, 2011.

BLACKBURN, G. A. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 4, p. 657–675, 1998.

CARRANO-MOREIRA, A. F. **Manejo Integrado de Pragas Florestais: fundamentos ecológicos, conceitos e táticas de controle**. Rio de Janeiro: Technical Books, 2014.

CARVALHO, D. R. J. **Predação em *Pinus* spp. por *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) (Primates; Cebidae) na região nordeste do Paraná - Brasil**. 2007. 64 f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

CARVALHO, D. R. J.; MOGNON, F.; SILVA, A. S.; SCHULTZ, G. C.; DELLA GIACOMA, F. **Projeto Macaco-prego: predação em *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em General Carneiro, Paraná**. Curitiba: Instituto Ecoplan/SEMA/FEMA, 2003.

CERBARO, V. A.; FORNARI, M.; PAVAN, W.; FERNANDES, J. M. C.; CECHETTI, N. P. Plataforma de baixo custo para coleta de imagens NDVI. In: **Anais do X Congresso Brasileiro de Agroinformática**. 2015.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459–479, 1988.

COUTO, P. Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. **Investigação Operacional**, v. 24, p.109-137, 2004.

CPB - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE PRIMATAS BRASILEIROS. **Primatas brasileiros**. 2012. Disponível em: <http://www.4.icmbio.gov.br>. Acesso em: 16 fev. 2019.

DASH, J.; CURRAN, P.J. Evaluation of the MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI). **Advances in Space Research**, v. 39, n. 1, p. 100–104, 2007.

DAUGHTRY, C. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 229–239, 2000.

DELEGIDO, J.; VERRELST, J.; ALONSO, L.; MORENO, J. Evaluation of Sentinel-2 rededge bands for empirical estimation of green LAI and chlorophyll content. **Sensors**, v. 11, p. 7063–7081, 2011.

DELGADO, L. E. da S. **Sanidade de populações de macaco-prego *Sapajus nigritus* (Goldfuss 1809) em fragmentos de floresta atlântica do sul do Brasil**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

DI BITETTI, M. S. Primates bark-stripping trees in forest plantations – A review **Forest Ecology and Management**, v. 449, 2019.

DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHIERI, H. R. **Produção e Rentabilidade de *Pinus* em Empresas Florestais**. Colombo: EMBRAPA, 2002.

DROOMER, E. A. P. Volume and value loss owing to Samango monkey damage in pine stands in the Northern Transvaal. **South African Forestry Journal** v. 134, p. 47-51. 1985.

ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2: Overview**. 2019. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview>. Acesso em: 17 jun. 2019.

FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. P.; SILVA, F. L. da; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2009.

FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, M. **Influência da dieta nos padrões espaciais dos primatas: proposta metodológica aplicada a um grupo de *Sapajus nigritus***. 2014. 244 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FERNÁNDEZ-MANSO, A.; FERNÁNDEZ-MANSO, O.; QUINTANO, C. SENTINEL-2A Red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 50, p. 170–175, 2016.

FOGAÇA, M. D. **Comportamento alimentar e propriedades físicas dos alimentos consumidos por macacos-prego (*Sapajus nigritus*), no Parque Estadual Carlos Botelho, SP**. 2014. 80 f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FRAGASZY, D. M.; VISALBERGHI, E.; FEDIGAN, L. M.. **The Complete Capuchin – The Biology of the Genus *Cebus***. United Kingdom: Cambridge University Press, 2004.

FRAMPTON, W. J., DASH, J., EDWARD, G. W., MILTON, J. Evaluating the capabilities of Sentinel 2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 82, p. 83–92, 2013.

GALETTI, M.; PEDRONI, F. Seasonal diet of capuchin monkeys (*Cebus apella*) in a semideciduous forest in south-east Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, n. 1, p. 27–39, 1994.

GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T. J.; RUNDQUIST, D. C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 5, p. 271-282, 2003.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B.; GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. **Photochemistry and Photobiology**, v. 74, n. 1, p. 38–45, 2001.

GITELSON, A. A.; ZUR, Y.; CHIVKUNOVA, O. B.; MERZLYAK, M. N. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. **Photochemistry and Photobiology**, v. 75, n. 3, p. 272–281, 2002.

GNOINSKY JUNIOR, J. **Custos de campo em inventários de florestas plantadas: estudo de caso**. 2015. 40 f. Monografia (Especialização em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

GOTTESFELD, L. M. J. The importance of bark products in the aboriginal economies of Northwestern British Columbia Canada. **Economic Botany**, v. 46, n. 2, p. 148-157, 1992.

GROVES, C. P. Order Primates. In: WILSON, D. E.; REEDER, D. M. (Ed.). **Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2005. p. 111–184.

HASS, G. P. **Levantamento populacional do bugio-ruivo (*Alouatta clamitans*) e do macaco-prego (*Sapajus nigritus*) em fragmentos florestais de Mata de Araucária em Fazenda Souza, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil**. 2012. 29 f. Monografia (Especialização em Diversidade e Conservação da Fauna) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

HENDGES, C. D.; MELO, G. L.; GONÇALVES, A. S.; CEREZER, F. O. Landscape attributes as drivers of the geographical variation in density of *Sapajus nigritus* Kerr, 1792, a primate endemic to the Atlantic Forest. **Acta Oecologica**, v. 84, p. 57-63, 2017.

HOFFMANN, M. **The IUCN Red List of Threatened Species 2008: *Palaeopropithecus ingens***. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T136532A4306543.en>. Acesso em: 4 jul. 2019.

IAP, Instituto Ambiental do Paraná. **Delineamentos para o manejo do macaco-prego (*Cebus nigritus*) no Paraná**. Curitiba: Projeto Paraná Biodiversidade, 2009.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species**: version 2019.1. 2019. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 07 abr. 2019.

IZAR, P. Female social relationships of *Cebus apella nigritus* in a southeastern Atlantic forest: an analysis through ecological models of primate social evolution. **Behaviour**, v. 141, n. 1, p. 71-99, 2004.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução por: EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; SANTOS, A.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S. São José dos Campos: Parêntese. 2009. Título original: Remote sensing of the environment: an earth resource perspective.

KLEIN, R. M. **Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina**. Itajaí: SUDESUL/FATMA/HBR, 1978.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, v. 12, n. 12, p. 17-44, 1960.

KOEHLER, A.; FIRKOWSKI, C. Descascamento de pinus por *Cebus apella*. **Floresta**, v. 24, p. 61-75, 1996.

LEE, P. C.; PRISTON, N. E. C. Human attitudes to primates: Perceptions of pests, conflict and consequences for primate conservation. In: PATERSON, J. D.; WALLIS, J. **Commensalism and Conflict: The Human-Primate Interface**. American Society of Primatologists, 2005.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B. Damage caused by brown-capuchin monkeys to nine *Pinus* species and the implications for forest management, **Revista Floresta**, v. 47, n. 1, p. 37-42. 2017.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B. First record of Eucalyptus spp. bark-stripping by Brown-capuchin monkeys (*Sapajus nigritus*, Primates: Cebidae). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 501-505, 2015.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B.; OLIVEIRA, E. B. de; MOREIRA, J. M. M. A. P. Descascamento de *Pinus taeda* por macacos-prego (*Sapajus nigritus*): tipos e intensidades de danos e seus impactos sobre o crescimento das árvores. **Revista Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 37-49, 2015a.

LIEBSCH, D.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B.; MIKICH, S. B. Impacto do descascamento de árvores de *Pinus taeda* L. por macacos-prego na produção e receita em plantios com desbastes. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 48-55. 2018.

LIEBSCH, D. ;OLIVEIRA, E. B.; MOREIRA, J. M. ; MIKICH, S. B.. Inventário e aplicativo computacional para avaliação de danos causados por macaco-prego em plantios de pinus. EMBRAPA FLORESTAS. COMUNICADO TÉCNICO, v. 384, p. 1-8, 2016.

LIMA, G. Manejo e conservação de fauna silvestre em áreas de reflorestamento. **Est. Biol.**, v. 34, p. 5-16, 1993.

LIMA, M. G. M. **Filogenia, biogeografia e história evolutiva dos macacos-prego, gênero *Sapajus* kerr, 1972 (Primates: Cebidae)**. 2016. 119 f. Tese (Doutorado em Zoologia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

LUDWIG, G.; AGUIAR, L. M.; ROCHA, V. J. Uma avaliação da dieta, da área de vida e das estimativas populacionais de *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) em um fragmento florestal no norte do estado do Paraná. **Neotropical Primates**, v. 13, n. 3, p. 12–18, 2005.

LYNCH ALFARO, J.W., SILVA-JUNIOR, J. S., RYLANDS, A.B. How different are robust and gracile capuchin monkeys? An argument for the use of *Sapajus* and *Cebus*. **American Journal of Primatology**, v. 00, p. 1-14, 2012.

MACPHEE, R.; HOFFMANN, M. **The IUCN Red List of Threatened Species 2008: *Xenothrix mcgregori***. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T136515A4303233.en>. Acesso em: 4 jul. 2019.

MARQUES, M. C. M.; ROPER, J. J.; SALVALAGGIO, P. B. Phenological patterns among plant life-forms in a subtropical forest in southern Brazil. **Plant Ecology**, v. 173, p. 203-213, 2004.

MARTINS, G. D.; GALO, M. de L. B. T. Detecção de áreas infestadas por nematoides e *Migdolus fryanus* em cultura canavieira a partir de imagens multiespectrais Rapideye. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, p. 285-301, 2014.

MENDONÇA-FURTADO, O. **Medidas de metabólitos de cortisol em macacos-prego (Gênero *Sapajus*): análise comparativa entre populações para investigação de fatores estressores**. 2012. 92 f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

MERZLYAK, M. N.; GITELSON, A. A.; CHIVKUNOVA, O. B.; RAKITIN, V. Y. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, v. 106, n. 1, p. 135–141, 1999.

METZGER, J. P. Delineamento de experimentos numa perspectiva de ecologia da paisagem. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná. p. 525-542. 2006a.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná. p. 423-453. 2006b.

MIKICH, S. B.; ALMEIDA, A. Espécies e práticas indicadas para o enriquecimento da Floresta com Araucária visando reduzir os danos causados por macacos-prego a plantações florestais. **Comunicado Técnico Embrapa Florestas**, v. 412, p. 1, 2018.

MIKICH, S. B.; LIEBLICH, D.; ALMEIDA, A. de; MIYAZAKI, R. D. O papel do macaco-prego *Sapajus nigritus* na dispersão de sementes e no controle potencial de insetos-praga em cultivos agrícolas e florestais. In: **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015b.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. DAL'MASO, A. Avaliação dos danos causados por macaco-prego, *Cebus apella*, a plantios de *Pinus* spp. e sua relação com a disponibilidade sazonal de frutos em remanescentes da Floresta Ombrófila Mista no Estado do Paraná, Brasil. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Primatologia**. 2005.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. Damage to forest plantations by tufted capuchins (*Sapajus nigritus*): Too many monkeys or not enough fruits? **Forest Ecology and Management**, v. 314, p. 9–16, 2014.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. **O Macaco-prego e os plantios de *Pinus* spp.** Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D.; ALMEIDA, A.; OLIVEIRA, E. B. de; MOREIRA, J. M. M. A. P. O programa macaco-prego da Embrapa Florestas: avanços e perspectivas. In: **Anais do 5º Congresso Florestal Paranaense**. 2015a.

MIRANDA, V. N.; ALMEIDA, A.; HELM, C. V. Caracterização da composição química de cinco itens relacionados ao hábito alimentar do macaco-prego. In: **Anais do XII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas**. Colombo, PR. 2013.

MOHAMMADI, F.; BAVAGHAR, M. P.; SHABANIAN, N. Forest Fire Risk Zone Modeling Using Logistic Regression and GIS: An Iranian Case Study. **Small-Scale Forestry**, v. 13, n. 1, p. 117–125, 2014.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B. de; LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B. **Avaliação do impacto econômico de danos causados por macacos-prego a plantios de *Pinus taeda* no Sul do Brasil: método proposto e estudo de caso.** Documento nº 302. Colombo: Embrapa Florestas, 2017.

OLIVEIRA, E. B.; MOREIRA, J.M.M.A.P.; LIEBSCH, D; MIKICH, S. B.. Ferramenta computacional para estimar perdas na produção de madeira de *Pinus taeda*, em plantações atacadas por macaco-prego (*Sapajus nigritus*). In: **Anais do 5º Congresso Florestal Paranaense**, 2015, Curitiba, PR, 2015.

PAVELSKI, J. A. **Quantificação das perdas ocasionadas por ataque de macaco-prego em reflorestamentos de *Pinus taeda*.** 2016. 28 f. Monografia (Especialização em Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PEDRALI, L. D.; BORGES JÚNIOR, N.; PEREIRA, R. S.; TRAMONTINA, J.; ALBA, E.; MARCHESAN, J. Multispectral remote sensing for determining dry severity levels of pointers in *Eucalyptus* spp. **Revista Scientia Forestalis**, v. 47, n. 122, p. 224-234, 2019.

PEREIRA, L. S.; SILVA, D. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 16, n. 1, p. 8-33, 2016.

PERTILLE, C. T. **Aplicação do sensoriamento remoto no diagnóstico da sanidade de plantios de *Pinus taeda* L. atacados por *Sapajus nigritus* Kerr (1972).** 2019. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

PIRES, P. de T. de L.; LOPER, A. A.; MENDES, C. J.; PETERS, E. L.; MAIA, G. N.; ABREU, L. M. de. **Dicionário de termos florestais.** FUPEF, Curitiba, ed. 1, p. 113, 2018.

PONZONI, F. J. **Comportamento Espectral da Vegetação.** In. Sensoriamento Remoto – Reflectância dos alvos naturais. Brasília: Editora UnB. p. 157-199, 2001.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2010.

PSG - PRIMATE SPECIALIST GROUP. **Global primate biodiversity.** International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 2018. Disponível em: http://www.primate-sg.org/primate_diversity_by_region/. Acesso em: 23 jul. 2019.

RANGEL, C. H.; ADLER, J. G. V.; HELIODOR, G. C.; SANTOS JR, A.; VERONA, C. E. Relato de caso de morte por agressão entre macacos-prego *Sapajus nigritus* (Primates: Cebidae) no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Neotropical Primates**, v. 20, n. 1, p. 48-52, 2013.

ROCHA, L. C. **Percepções e atitudes de moradores rurais em relações ao macaco-prego, *Sapajus nigritus* (Goldfuss, 1809), na área de influência de uma usina hidrelétrica no Rio Grande do Sul.** 2013. 38 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Animal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

ROCHA, V. J. Macaco-prego, como controlar esta nova praga florestal? **Revista Floresta**, v. 30, p. 95-99, 2000.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.** In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Whashington: Nasa, 1974, v. 1, p. 309-317, 1973.

RYLANDS, A. B.; MITTERMEIER, R. A.; SILVA JR, J. A. Neotropical primates: taxonomy and recently described species and subspecies. **International Zoo Yearbook**, v. 46, p. 11-24, 2012.

SANTOS, J. L.; PASCHOAL, A. M. O.; MASSARA, R. L.; CHIARELLO, A. G. High consumption of primates by pumas and ocelots in a remnant of the Brazilian Atlantic Forest. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 3, p. 632-641, 2014.

SANTOS, L. P. C. dos. **Parâmetros nutricionais da dieta de duas populações de macacos-prego: *Sapajus libidinosus* no ecótono Cerrado/Caatinga e *Sapajus nigritus* na Mata Atlântica.** 2015. 111 f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SEVGHENIAN, E. **Distribuição espacial de espécies arbóreas presentes na área de vida de *Sapajus nigritus* (Primates, Cebidae) na Mata Atlântica, Parque Estadual Carlos Botelho, Estado de São Paulo.** 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SILVA, O. F. **Análise de imagens multitemporais do sensor TM Landsat-5 da vegetação do cerrado, utilizando técnicas de NDVI, no Parque Nacional das Emas – Goiás.** 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2014.

SILVEIRA, H. L. F. da. **Uso de dados do sensor MSI/Sentinel-2 e de Lidar aerotransportado para mapeamento de fitofisionomias de Caatinga e estudo das relações com atributos físico-químicos dos solos.** 2018. 136 f. Dissertação (Mestrado do Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2018.

VIDOLIN, G. P.; MIKICH, S. B. *Cebus nigritus* (Primates: Cebidae) no Parque Estadual de Vila Rica do Espírito Santo, Fênix – PR: estimativa populacional e área de vida, composição e dinâmica dos grupos. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação.** Curitiba, PR, 2004.

VILAR DEL HOYO, L.; ISABEL, M. P. M.; VEGA, F. J. M. Logistic regression models for human-caused wildfire risk estimation: Analysing the effect of the spatial accuracy in fire occurrence data. **European Journal of Forest Research**, v. 130, n. 6, p. 983–996, 2011.

VON DEM BUSSCHE, G. H.; VAN DER ZEE, D. Damage by Samango Monkeys, *Cercopithecus (mitis) albogularis*, to Pine Trees in the Northern Transvaal. **South African Forestry Journal**, v. 133, n. 1, p. 43-48, 1985.

XIE, Q.; DASH, J.; HUANG, W.; PENG, D.; QIN, Q.; MORTIMER, H.; CASA, R.; PIGNATTI, S.; LANEVE, G.; PASCUCCI, S.; DONG, Y.; HUICHUN, Y. Vegetation indices combining the red and *Red-edge* spectral information for leaf area index retrieval. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 5, n. 11, p. 1482-1493, 2018.

ZACKRISSON, O.; OSTLUND, L.; KORHONEN, O.; BERGMAN, I. The ancient use of *Pinus sylvestris* L. (Scots pine) inner bark by Sami people in northern Sweden, related to cultural and ecological factors. **Vegetation History and Archaeobotany Journal**, v. 9, p. 99-109, 2000.

ZHANG, Y.; LIM, S.; SHARPLES, J. J. Modelling spatial patterns of wildfire occurrence in South-Eastern Australia. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 5705, p. 1–16, 2016.

4 CAPÍTULO 1 – MÉTRICAS DA PAISAGEM ASSOCIADAS AO USO DE PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. POR MACACO-PREGO (*Sapajus nigritus* Goldfuss)

RESUMO

Os macacos-prego convivem em paisagens alteradas, utilizando os recursos disponíveis no ambiente. O uso de árvores do gênero *Pinus* pelo macaco-prego preocupa silvicultores, pois os animais descascam as árvores em busca de alimento, comprometendo o crescimento e a qualidade da madeira. Pesquisadores relacionam os danos à falta de alimento na floresta natural, que por sua vez é resultado da degradação, redução de área e fragmentação. Apesar de ser considerada uma explicação para a motivação dos danos, a avaliação da paisagem (fragmentação) nos locais onde são encontrados danos ainda não foi estudada. Dessa forma, o objetivo deste capítulo foi estudar a paisagem nos locais onde danos de macaco-prego a árvores de *Pinus taeda* L. foram identificados e, por meio das métricas, avaliar a influência da paisagem e sua correlação com os danos. O estudo foi desenvolvido por meio de uma base de dados que possui informação dos danos de macaco-prego identificados no Planalto de Lages, Planalto de Canoinhas e Vale do Itajaí no estado de Santa Catarina, entre os anos de 2012 a 2016. Nessa base, estão incluídas 306 propriedades florestais distribuídas em 41 municípios. Para avaliação da paisagem, definiu-se escala de efeito considerando três fatores: área de vida da espécie, distância linear da área de vida da espécie e distância de dispersão máxima. Foram selecionadas cinco métricas para avaliar a disposição e a composição da paisagem, calculadas em mapas obtidos a partir da biblioteca 2.3 do MapBiomas. A diferença nas métricas entre os locais com e sem danos foi testada pelo Teste U de Mann-Whitney, ao nível de 5% de probabilidade. Para avaliar a existência de correlação entre as métricas e a presença de danos, os dados foram submetidos ao teste de correlação Rho de Spearman. Ainda, para verificar a existência de Autocorrelação Espacial, o Índice de Moran I foi calculado. Os resultados demonstram que, nas áreas onde a matriz da paisagem é ocupada por florestas, houve maior relação com a presença de danos, algo próximo do esperado, pois o macaco-prego é uma espécie arborícola, ou seja, há necessidade por ecossistema florestal. Ainda, nas áreas com danos, foram encontradas manchas de floresta nativa de maior área, melhor forma (menor relação perímetro/área) e menos fragmentadas, quando comparado aos locais sem danos. O Índice de Moran I resultou na ausência de autocorrelação espacial global, o que pode ser relacionado a uma condição microrregional. Pode-se concluir que as áreas com danos possuem características de paisagem menos fragmentada, com uma matriz microrregional florestal, com manchas de maior área e melhor forma (menor relação perímetro/área).

Palavras-chave: Danos em árvores. Fragmentação Florestal. Matriz da paisagem. Permeabilidade.

CHAPTER 1 – LANDSCAPE METRICS ASSOCIATED TO THE USE OF *Pinus taeda* L. POPULATIONS BY BLACK CAPUCHIN (*Sapajus nigritus* Goldfuss)

ABSTRACT

The black capuchin live in altered landscapes, using the resources available in the environment. The use of trees from the *Pinus* by black-capuchin genus worries foresters because the animals peel the trees in search for food, compromising the growth and the quality of the wood. Researchers relate the damage to food shortages in the natural forest, which in its turn, results from degradation, area reduction and fragmentation. Despite being considered an explanation to the damage motivation, the assessment of the landscape (fragmentation) on the locations where damages have been found has never been studied. Thus, the objective of this chapter was to study the landscape in places where black capuchin monkey damage to *Pinus taeda* L. trees was identified and, through the metrics, assess the influence of the landscape and its correlation with the damages. The study was performed through a database that contains the information on the damage of black capuchin monkey identified in the Planalto de Lages, Planalto de Canoinhas and the Vale do Itajaí in the state of Santa Catarina, from the year of 2012 up to 2016. In this database, 306 forest properties are included, distributed in 41 cities. For the landscape assessment, a scale of effect was defined, considering three factors: size of the living area of the species, linear distance of the living area of the species and the maximum distance of dispersion. Five metrics have been selected to evaluate the disposition and the composition of the landscape, calculated in maps obtained from the 2.3 library of MapBiomas. The difference in the metrics between the locations with and without damages was tested by the Mann-Whitney U test, at the 5% probability level. To assess the existence of correlation between the metrics and the presence of damages, the data were subjected to Spearman Rho correlation test. Also, to verify the existence of Spatial Autocorrelation, the Moran Index was calculated. The results show that in the areas where the landscape matrix is occupied by forests there was higher relation with the presence of damage, something close to the expected, the black-capuchin is an arboreal species, in other words, it needs for forest ecosystem. Moreover, the areas with damages marks have bigger area, better form (lesser perimeter/area ratio) and less fragmentation are found, when compared to the locations without damages. The Moran I Index resulted in the absence of global spatial autocorrelation, what can be related to a microregion condition. it can be concluded that the areas with damages have characteristics of a less fragmented landscape, with forest microregion matrix, marks of bigger area and better form.

Keywords: Damages in trees. Forest fragmentation. Landscape matrix. Permeability.

4.1 INTRODUÇÃO

Macacos-prego da espécie *Sapajus nigritus* têm grande capacidade de ocupação em diferentes ambientes naturais, mesmo que alterados e fragmentados (MIKICH; LIEBSCH, 2009). Os animais vivem em mosaicos compostos por remanescentes de vegetação natural e plantios florestais, aproveitando os recursos existentes nesses locais (IZAR *et al.*, 2012; MIKICH *et al.*, 2015).

O aproveitamento dos recursos disponíveis no ambiente envolve, há mais de 50 anos, o uso dos plantios florestais, principalmente do gênero *Pinus* (LIMA, 1993). Há aproximadamente 25 anos, aumentos significativos de danos por macacos-prego são registrados (MIKICH; LIEBSCH, 2009).

Mikich e Liebsch (2014) concluíram que o descascamento de árvores para o consumo da seiva está diretamente relacionado à baixa disponibilidade de frutos nos remanescentes de vegetação natural existentes no entorno dos plantios florestais. Adicionalmente, Rocha (2000) relacionou os ataques e a falta de alimento a fragmentação, degradação e descaracterização desses locais.

A influência da paisagem sobre as populações de macaco-prego foi estudada por Hedges *et al.* (2017). No entanto, não são encontrados estudos que relacionem a influência da disposição e composição da paisagem sobre os danos em plantios florestais. Esses efeitos são medidos por meio de métricas da paisagem.

Apesar de ser considerada uma explicação para a motivação dos danos, a avaliação da paisagem (fragmentação) nos locais onde são encontrados danos não foi estudada por meio de métricas que permitem comparações. Dessa forma, o objetivo do presente capítulo foi avaliar as métricas da paisagem e a sua relação com os danos de macaco-prego a árvores de *P. taeda*, apoiado na hipótese de que, paisagens mais fragmentadas influenciam a ocorrência dos danos.

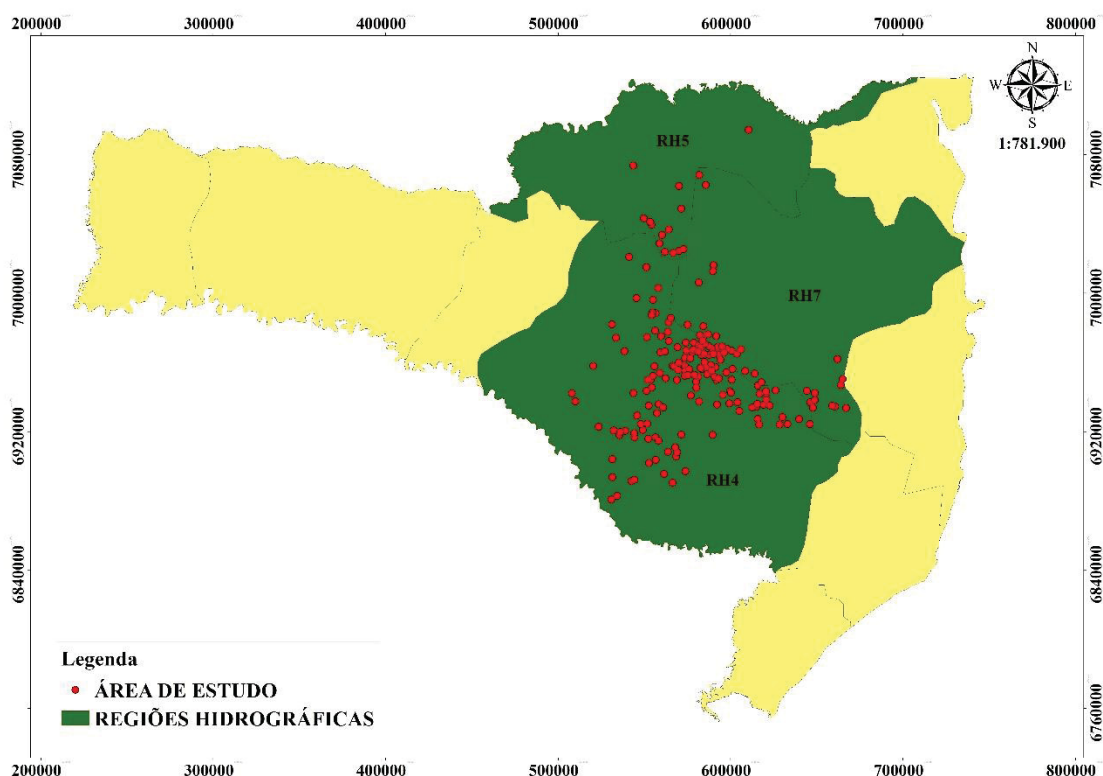
4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido por meio de uma base de dados que possui informação dos danos de macaco-prego identificados nas regiões hidrográficas (RH) do Planalto de Lages (RH 4), Planalto de Canoinhas (RH 5) e Vale do Itajaí (RH 7)

(Figura 2), dos anos de 2012 a 2016. Nessa base, estão incluídas 306 propriedades florestais, das quais obteve-se a informação de presença ou ausência de danos de macaco-prego. Ao todo, este estudo abrange 41 municípios e uma área de aproximadamente 85 mil hectares ocupados com plantios florestais.

Figura 2. Localização da área de estudo.



Fonte: Modificado de IBGE (2012).

A principal espécie plantada nessas propriedades é o *Pinus taeda*, porém são encontrados plantios de *Araucaria angustifolia* O. Ktze, *Cryptomeria japonica* D. Don, *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook., *Cupressus lusitanica* Mill., *Eucalyptus benthamii* Maiden, *Eucalyptus dunnii* Maiden, *Eucalyptus smithii* R. T. Baker, *Eucalyptus viminalis* Labill., *Pinus elliotti* Engelm., *Pinus glabra* Walter, *Pinus greggii* Engelm. e *Pinus patula* Schltld & Cham. Todas as florestas plantadas formam um mosaico na paisagem pela variação de idades dos plantios, pela diferença no manejo e pelo arranjo dos plantios com a vegetação natural.

As propriedades estão inseridas nas seguintes formações florestais: Floresta Ombrófila Densa (FOD), Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Campos de altitude (CA), consideradas áreas naturais do bioma Mata Atlântica, segundo o Decreto nº

6.660/2008. O clima da região é caracterizado por Köppen-Geiger (1928) como mesotérmico úmido, com ausência de estação seca. Para as RH do Planalto de Lages e Planalto de Canoinhas, onde as altitudes são superiores a 800 m, o clima é denominado mesotérmico úmido, com verão fresco (Cfb). Na RH do Vale do Itajaí, o clima é classificado como mesotérmico úmido, com verão quente (Cfa).

4.2.2 Formação da base de dados

Por meio dos registros do inventário florestal contínuo (IFC) cedido por duas empresas florestais com áreas nessas três regiões hidrográficas, buscou-se formatar o banco de dados usados no presente estudo. Para cada propriedade avaliada e em cada ano de avaliação, a informação sobre a presença ou ausência de danos causados por macaco-prego foi obtida. Os IFC avaliaram plantios entre 4 a 20 anos. Foram considerados somente os dados para as áreas com plantios da espécie *P. taeda*.

4.2.3 Definição da escala de efeito

Para medir e comparar os índices da paisagem, foi necessário estimar a escala de efeito correta de acordo com o fenômeno estudado, ou seja, a extensão espacial da paisagem que traz resposta acerca do evento de interesse. Definiu-se escala de efeito considerando três fatores: área de vida da espécie, distância linear da área de vida da espécie e distância de dispersão máxima, segundo Hendges *et al.* (2017).

O tamanho da área de vida foi obtido do estudo de Rímole *et al.* (2008), o que corresponde, para *S. nigritus*, a 2,68 km². A distância linear da área de vida foi obtida do comprimento total da circunferência formada pela área de vida da espécie, adaptado de Bowman *et al.* (2002) (=5,80326 km). Por fim, segundo Jackson e Fahrig (2012), usou-se o valor igual a 30%, representando a distância percentual de dispersão máxima. Com auxílio da equação 1, calculou-se a escala de efeito, resultando no valor de 2,85 km de raio.

Equação 1. Equação para o cálculo da escala de efeito.

$$Escala\ de\ efeito = [(\sqrt{AV}) + DLAV] * DMD$$

Em que: AV: área de vida (km²); DLAV: distância linear da área de vida (km); DDM: distância de dispersão máxima (%).

Fonte: Adaptado de Hendges *et al.* (2017).

4.2.4 Delineamento experimental

O delineamento considerado foi o inteiramente casualizado, com os tratamentos (presença ou ausência de danos nas árvores) distribuídos igualmente entre as amostras. Após determinada a escala de efeito, com auxílio da ferramenta *Buffer* em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) no programa QGIS versão 3.8.1 (Equipe de desenvolvimento do QGIS, 2018), foram geradas as amostras de avaliação. A área total de cada amostra foi igual a 2.551,8 hectares. Nos casos onde havia sobreposição de áreas, foram desconsiderados os *Buffer* com sobreposição. Apoiada na base de dados, foram sorteados aleatoriamente 68 amostras não sobrepostas.

4.2.5 Aquisição dos dados de cobertura da terra

Para o desenvolvimento deste estudo, foram considerados dados de cobertura da terra para os anos de 2012 a 2016, fornecidos pelo MapBiomas em sua biblioteca 2.3 (PROJETO MAPBIOMAS, 2018). O MapBiomas é uma fonte de dados geográficos baseada na classificação automática de imagens do sensor LANDSAT com resolução espacial de 30 m. A acurácia da biblioteca 2.3 para o bioma Mata Atlântica é de 83,4%.

A biblioteca 2.3 do MapBiomas disponibiliza um documento de orientação, o qual traz uma legenda que relaciona o valor do pixel e a correspondente classe de uso da terra considerada na classificação. Para este estudo, foram usados os valores 3 e 4 da legenda para compor a classe de floresta natural e o valor 9 para a classe de floresta plantada.

Após definir as classes, um filtro foi aplicado excluindo da análise todas as manchas com área inferior a 1 ha, por ser comum na técnica de classificação automática a formação de pequenas manchas (menores do que 1 ha) em função da

resolução espacial das imagens usadas para a obtenção dos mapas (30 m) e da acurácia de classificação.

4.2.6 Métricas da paisagem

Para avaliar os atributos da paisagem, foram calculadas métricas de disposição e composição da paisagem. As métricas calculadas seguiram as orientações de Couto (2004), Metzger (2006a) e Hendges *et al.* (2017), os quais descrevem que, apesar de existirem muitas métricas possíveis de se calcular, deve-se buscar as menos redundantes. Essa dificuldade existe dentro da ecologia da paisagem, pois existem poucas medidas primárias que podem ser extraídas das manchas, fazendo com que a maior parte das métricas sejam derivadas dessas medidas primárias.

Dessa maneira, foram selecionadas cinco medidas consideradas univariadas: área relativa de ocupação da amostra, riqueza de manchas, área da maior mancha, área média das manchas e forma das manchas (Quadro 2).

Quadro 2. Métricas da paisagem usadas no estudo com suas respectivas equações.

Métrica	Unidade de medida	Equação	Referência
Ocupação da amostra	Percentual	$OA = (AC / ATC) * 100$	Metzger (2006a)
Riqueza de manchas	Unidades	$RM = CM$	Hendges <i>et al.</i> (2017)
Área da maior mancha	Hectares	$AM_{\text{máx}}$	Hendges <i>et al.</i> (2017)
Área média	Hectares	$AM = ATC / CM$	Couto (2004)
Forma das manchas	Adimensional	$FM = P / A$	Metzger (2006a)

Em que: AO: ocupação da amostra; AC: área ocupada pela classe; ATC: área total da classe; CM: número de manchas; $AM_{\text{máx}}$: área da maior mancha; AMM: média da área das manchas; FM: forma das manchas; P: Perímetro da mancha; A: área da mancha.

Fonte: Adaptado de Couto (2004), Metzger (2006a) e Hendges *et al.* (2017).

As métricas foram calculadas com auxílio da aplicação LecoS versão 3.0.0 (JUNG, 2016) no aplicativo computacional QGIS versão 3.8.1. O LecoS é baseado em métricas extraídas do aplicativo computacional FRAGSTATS®. Suas funções incluem o cálculo de métricas em imagens do tipo *raster* e camadas vetoriais.

4.2.7 Análises estatísticas

Para avaliar a diferença entre a composição e a configuração da paisagem em locais com e sem a presença de danos de macaco-prego, comparou-se os resultados por meio do Teste U de Mann-Whitney ao nível de 5% de significância, pois há evidências de que as variáveis apresentam distribuição não-normal, aferida por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de probabilidade.

Para avaliar a existência de correlação entre as métricas da paisagem e a presença de danos nas árvores, os dados foram submetidos ao teste de Correlação Rho de Spearman. Para a presença de Autocorrelação Espacial, foi calculado o Índice de Moran I, que mede a relação entre amostras vizinhas e a influência que uma exerce sobre a outra. Esse índice varia entre um negativo e um positivo, em que os valores extremos mostram forte autocorrelação, ao passo que a ausência está nos valores próximos a zero. As análises foram realizadas no *software* SPSS versão 3.4.1 (IBM, 2019).

4.3 RESULTADOS

Os resultados da avaliação das métricas da paisagem permitem afirmar que as áreas com danos foram superiores em todas as métricas em relação as áreas sem danos (Tabela 1). A ocupação da amostra (OA) por florestas, nas amostras onde os danos de macaco-prego foram encontrados, foi igual a 76% (50% de florestas naturais e 26% de florestas plantadas). Nas áreas onde os danos não foram encontrados, essa soma perfaz 59% (40% de florestas naturais e 19% de florestas plantadas).

Tabela 1. Métricas da paisagem avaliadas para áreas com e sem danos de macaco-prego.

Métrica	Classe	Amostras com danos	Amostras sem danos
Ocupação da Amostra	Floresta Natural	50%	40%
Ocupação da Amostra	Floresta Plantada	26%	19%
Riqueza de Manchas	Floresta Natural	36 unidades	40 unidades
Riqueza de Manchas	Floresta Plantada	29 unidades	23 unidades
Área da Maior Mancha	Floresta Natural	1.003,0 ha	676,1 ha
Área da Maior Mancha	Floresta Plantada	311,9 ha	187,2 ha
Área Média	Floresta Natural	85,0	40,9 ha
Área Média	Floresta Plantada	28,5	25,4 ha
Forma das Manchas	Floresta Natural	0,0157	0,0190
Forma das Manchas	Floresta Plantada	0,0143	0,0144

Fonte: O autor (2019).

A área média da maior mancha (AM_{áx}) de floresta natural, foi 48% (1.003,0 ha) superior os locais com danos em relação aos locais onde não haviam danos (676,1 ha), assim como a área média (AM) das machas mostrou-se o dobro maior nos locais atacados (85,0 ha) em relação aos locais sem danos (40,9 ha). As diferenças estatísticas foram avaliadas por meio do Teste U de Mann-Whitney (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados do Teste U de Mann-Whitney para avaliar as diferenças entre as métricas da paisagem nos locais com e sem danos.

Métrica	Classe	U de Mann-Whitney
Ocupação da Amostra	Floresta Natural	656,0*
Ocupação da Amostra	Floresta Plantada	715,5*
Riqueza de Manchas	Floresta Natural	818,5 ^{ns}
Riqueza de Manchas	Floresta Plantada	730,5*
Área da Maior Mancha	Floresta Natural	632,0*
Área da Maior Mancha	Floresta Plantada	761,0*
Área Média	Floresta Natural	728,0*
Área Média	Floresta Plantada	903,5 ^{ns}
Forma das Manchas	Floresta Natural	700,5*
Forma das Manchas	Floresta Plantada	948,0 ^{ns}

Em que: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns = não-significativo.

Fonte: O autor (2019).

A correlação entre as métricas e a presença de danos foi aferida por meio do teste de Correlação Rho de Spearman. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados do teste de correlação entre as métricas da paisagem nos locais com e sem danos.

Métrica	Classe	Coeficiente Rho
Ocupação da Amostra	Floresta Natural	0,317*
Ocupação da Amostra	Floresta Plantada	0,267*
Riqueza de Manchas	Floresta Natural	-0,181 ^{ns}
Riqueza de Manchas	Floresta Plantada	0,255*
Área da Maior Mancha	Floresta Natural	0,337*
Área da Maior Mancha	Floresta Plantada	0,229*
Área Média	Floresta Natural	0,257*
Área Média	Floresta Plantada	0,110 ^{ns}
Forma das Manchas	Floresta Natural	-0,280 ^{ns}
Forma das Manchas	Floresta Plantada	-0,073 ^{ns}

Em que: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns = não-significativo.

Fonte: O autor (2019).

O Índice de Moran I demonstrou ausência de autocorrelação entre as métricas da paisagem avaliadas e a presença de danos em plantios florestais (Figura 3). Os valores obtidos na análise foram próximos de zero.

4.4 DISCUSSÃO

As áreas florestais com a presença de danos de macacos-prego, em um contexto geral, são as que abrigam os melhores atributos da paisagem, quando comparadas com locais onde a presença de danos não foi identificada. Esse resultado confronta a hipótese até então defendida de que os locais onde ocorrem danos com macacos-prego são mais fragmentados e empobrecidos (ROCHA, 2000; LIEBSCH; MIKICH, 2009; BASSO *et al.*, 2011; MIKICH; LIEBSCH, 2014; MIKICH *et al.*, 2015).

O macaco-prego (*S. nigritus*) é bastante versátil no uso do ambiente e realiza grande parte dos seus movimentos incentivados pela alimentação. Na FOM, são reconhecidas por Liebsch e Mikich (2009), as sazonalidades na disponibilidade de frutos, onde, à medida que os frutos vão se tornando menos abundantes, há aumento na ocorrência de danos em plantios de pinus.

Somando essa constatação com a contribuição de Fernández-Bolaños (2014), acerca da ecologia e dieta de *S. nigritus*, pode-se entender que os primatas, na época de escassez de alimentos, utilizam a área de forma mais uniforme (repetindo menos os mesmos locais). Por outro lado, quando o alimento é abundante, o uso é mais concentrado.

Os deslocamentos, no entanto, tendem a ser menores nos períodos de escassez e maiores no período de alta produtividade, corroborando com a teoria do forrageamento ótimo (SANTOS, 2015), ou seja, mantendo o balanço entre a energia gasta para aquisição do alimento e a obtida com o alimento encontrado.

Fernández-Bolaños (2014), avaliando grupos de macacos-prego (*S. nigritus*) na Mata Atlântica, contribuiu descrevendo que, no final da época seca (inverno) e princípio da úmida (primavera), sendo os períodos de escassez de frutos maduros e de palmeiras, os macacos-prego se expandiram e utilizaram áreas mais marginais do fragmento florestal matricial avaliado (Parque Estadual Carlos Botelho), com sazonalidade de oferta de frutos e utilização das bordas dos fragmentos naturais similar a identificada na região Sul do país.

O uso de *Pinus taeda* pelos macacos-prego tem relação com os atributos da paisagem onde estão os maiores fragmentos e com os maiores índices ocupação da amostra (OA) por florestas, ou seja, regiões preferencialmente florestais. Esse resultado está relacionado com a biologia dos primatas da Região Neotropical, que em sua grande parte, possuem hábito arborícola e, por conta disso, há necessidade

de um ecossistema arbóreo para o uso (MENDONÇA-FURTADO, 2012; FOGAÇA, 2014).

Nas amostras onde danos de macaco-prego não foram encontrados, as características para paisagem são bastante distintas. Essas amostras apresentam plenos sinais de fragmentação e menor área média das machas de floresta nativa. A característica dessas regiões faz com que se torne questionável a presença de *S. nigritus* nesses locais. É provável que, nas regiões onde os danos não foram identificados, não exista sequer a presença desses primatas. Essa extinção local pode estar relacionada com as exigências da espécie, com a pressão provocadas pela perda de hábitat, fragmentação florestal e caça (METZEGGER, 2006b; UEZU, 2006).

A Floresta com Araucárias (Floresta Ombrófila Mista) foi consideravelmente explorada na década de 1970 e poucos remanescentes viáveis restaram desde esse período. Após o ciclo de exploração, a ocupação da terra foi feita com outros usos, algumas áreas tornaram-se locais para agricultura/pecuária, enquanto outras foram ocupadas pela silvicultura de espécies exóticas (CABRAL; CESCO, 2008).

Nos últimos 25 anos, em específico após o ano de 1998 pela promulgação da Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/1998), potencializada em 2006 com a Lei da Mata Atlântica (Lei 11.428/2006), houve uma redução na taxa de conversão de áreas florestais existentes quando comparada ao ritmo dos anos de 1960 a 1980 (INPE; SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). Em Santa Catarina, algumas áreas inclusive regeneram-se, muitas delas, em propriedades florestais, devido ao cumprimento dos termos de ajustamento de conduta, implementados no ano de 2006, e também devido as exigências oriundas da certificação florestal.

O resultado de ausência de autocorrelação obtida com o Índice de Moran I (Figura 3), reforça o exposto anteriormente, demonstrando que a ocorrência dos danos não sofre influência da macrorregião e, sim, está relacionada com as características microrregionais, em especial da propriedade com os plantios de pinus danificados e seu entorno.

Esse contexto histórico tem relação direta com o problema estudado nesta pesquisa, ou seja, há evidências de que as propriedades florestais estejam servindo de refúgio para o macaco-prego (*S. nigritus*). Sugere-se que os danos ocorram nas áreas com os maiores remanescentes florestais, ou em áreas conexas a esses fragmentos, pois são esses os locais que dão suporte às populações de macacos-prego.

A consideração anterior faz mais sentido quando associada a característica dos plantios florestais da região Sul, principalmente pela longa rotação (20 a 25 anos). Essa característica faz com que as extensas áreas fiquem por longos períodos cobertas com vegetação arbórea. Além disso, as intervenções nesses locais ocorrem de maneira muito dissolvida ao longo da rotação, ou seja, as áreas passam por anos sem nenhuma alteração.

A soma desses fatores faz com que regiões silvícolas tornem-se atrativas para o macaco-prego. Hendges *et al.* (2017) demonstraram que paisagens florestais formadas por mosaicos de florestas naturais e plantadas são bastante eficientes na manutenção de populações de macacos-prego pela grande permeabilidade proporcionada por esses ambientes, ou seja, os macacos-prego conseguem usar o povoamento florestal como matriz, não sendo uma barreira para a espécie ou um elemento de isolamento geográfico.

A contribuição que este estudo traz para o entendimento da relação entre pinus e macaco-prego está na forma de interpretar a paisagem nos locais onde são encontrados danos. Os resultados deste estudo demonstram o potencial de influência exercido pela paisagem microrregional sobre o fenômeno e também a importância das florestas plantadas na conservação da fauna silvestre.

Também é importante salientar que o manejo dos danos pode ser potencializado se forem considerados os atributos da paisagem e o contexto em que os danos estão inseridos. Há estudos que buscam o controle de pragas considerando a análise da paisagem. O objetivo nesse caso é buscar ações que potencializem a função das áreas naturais, reduzindo a pressão sobre os cultivos, com base no entendimento do funcionamento dos ecossistemas, e principalmente levando em conta as características da espécie problema (WILLMER *et al.*, 2017; TOGNI *et al.*, 2017).

4.4 CONCLUSÃO

Os danos de macacos-prego em plantios de pinus no estado de Santa Catarina, são mais frequentes em regiões com paisagem menos fragmentada, com matriz microrregional florestal, com manchas de floresta nativa de maior área e melhor forma (menor relação perímetro/área) rejeitando a hipótese inicial do estudo.

A avaliação da paisagem por meio de métricas é de desenvolvimento e aplicação prática relativamente simples, e pode servir de base para o planejamento de ações destinadas a minimizar os danos por macacos-prego em pinus.

REFERÊNCIAS

BASSO, V. M.; JACOVINE, L. A. G.; ALVES, R. R.; VALVERDE, S. R.; SILVA, F. L.; BRIANEZI, D. Avaliação da influência da certificação florestal no cumprimento da legislação ambiental em plantações florestais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 835-844, 2011.

BIANCHI, F. J. J. A.; BOOIJ, C. J. H.; TSCHARNTKE, T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, p. 1715–1727, 2006.

BRASIL. Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. **Diário Oficial da União**, 24 de agosto de 2008.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da União**, 22 de dezembro de 2006.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União**, 12 de fevereiro de 1998.

CABRAL, D. C.; CESCO, S. Notas para uma história da exploração madeireira na mata atlântica do sul-sudeste. **Ambiente e Sociedade**, v. 11, n. 1 p. 33-48, 2008.

COUTO, P. Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. **Investigação Operacional**, v. 24, p. 109-137, 2004.

EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO QGIS. **QGIS 3.8.1: Geographic Information System User Guide**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2018.

FERNÁNDEZ-MANSO, A.; FERNÁNDEZ-MANSO, O.; QUINTANO, C. SENTINEL-2A Red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 50, p. 170–175, 2016.

FOGAÇA, M. D. **Comportamento alimentar e propriedades físicas dos alimentos consumidos por macacos-prego (*Sapajus nigritus*), no Parque Estadual Carlos Botelho, SP**. 2014. 80 f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HENDGES, C. D.; MELO, G. L.; GONÇALVES, A. S.; CEREZER, F. O. Landscape attributes as drivers of the geographical variation in density of *Sapajus nigritus* Kerr, 1792, a primate endemic to the Atlantic Forest. **Acta Oecologica**, v. 84, p. 57-63, 2017.

IBM. **IBM SPSS Statistics for Windows**. Versão de demonstração. Armonk: IBM Corporation. 2019.

INPE, Instituto de Pesquisas Espaciais; SOS Mata Atlântica. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2017-2018**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2019.

IZAR, P.; VERDERANE, M. P.; PETERNELLI-DOS-SANTOS, L.; MENDONÇA-FURTADO, O.; PRESOTTO, A.; TOKUDA, M.; FRAGASZY, D. Flexible and conservative features of social systems in tufted capuchin monkeys: comparing the socioecology of *Sapajus libidinosus* and *Sapajus nigritus*. **American Journal of Primatology**, v. 74, n. 4, p. 315-331, 2012.

JACKSON, H. B.; FAHRIG, L., What size is a biologically relevant landscape? **Landscape Ecology**, v. 27, p. 929-941, 2012.

JUNG, M. LecoS - A python plugin for automated landscape ecology analysis. **Ecological Informatics**, v. 31, p. 18-21, 2016.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928

LIMA, G. Manejo e conservação de fauna silvestre em áreas de reflorestamento. **Est. Biol.**, v. 34, p. 5-16, 1993.

MENDONÇA-FURTADO, O. **Medidas de metabólitos de cortisol em macacos-prego (Gênero *Sapajus*): análise comparativa entre populações para investigação de fatores estressores**. 2012. 92 f. Tese (Doutorado em Psicologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

METZGER, J. P. Delineamento de experimentos numa perspectiva de ecologia da paisagem. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná. p. 525-542, 2006a.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná. p.423-453, 2006b.

MIKICH, S. B.; LIEBLICH, D.; ALMEIDA, A. de; MIYAZAKI, R. D. O papel do macaco-prego *Sapajus nigritus* na dispersão de sementes e no controle potencial de insetos-praga em cultivos agrícolas e florestais. In. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. Damage to forest plantations by tufted capuchins (*Sapajus nigritus*): Too many monkeys or not enough fruits? **Forest Ecology and Management**, v. 314, p. 9-16, 2014.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. **O Macaco-prego e os plantios de *Pinus spp.*** Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

Projeto MapBiomas. **Coleção 2.3 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. 2018. Disponível em: <http://mapbiomas.org/> Acesso em: 03 de julho de 2019.

RÍMOLI, J.; STRIER, K.B.; FERRARI, S.F. Seasonal and longitudinal variation in the behavior of free-ranging black tufted capuchins *Cebus nigratus* (Goldfuss, 1809) in a fragment of Atlantic Forest in Southeastern Brazil. In: FERRARI, S., RÍMOLI, J. (Ed.). **A Primatologia No Brasil**, v. 9, p. 130-146, 2008.

ROCHA, V. J. Macaco-prego, como controlar esta nova praga florestal? **Revista Floresta**, v. 30, p. 95-99, 2000.

SANTOS, L. P. C. dos. **Parâmetros nutricionais da dieta de duas populações de macacos-prego: *Sapajus libidinosus* no ecótono Cerrado/Caatinga e *Sapajus nigratus* na Mata Atlântica**. 2015. 111 f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

TOGNI, P.; SUJII, E.; PALLINI, A.; SOUZA, L.; SOUSA, A. VENZON, M. Manipulação do habitat em diferentes escalas espaciais para o controle biológico conservativo em hortaliças orgânicas. In: **Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF** – v. 13, n. 1, p. 7, 2017.

UEZU, A. Uso de informações geográficas em biologia da conservação. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná. p.481-500, 2006.

WILLMER, J. N. G.; UZÊDA, M. C.; VIEIRA, M. V. A influência da paisagem e do manejo sobre a provisão do controle biológico de pragas. In: **Anais da XVII Semana Científica Johanna Dobereiner**, 2017.

5 CAPÍTULO 2 – PREDISPOSIÇÃO DE PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. AO DESCASCAMENTO DE ÁRVORES POR MACACO-PREGO (*Sapajus nigritus* Goldfuss)

RESUMO

Dentre as possibilidades de uso dos dados contidos em imagens digitais obtidas por sensores remotos está o cálculo de Índices de Vegetação (IV). Esses índices apresentam grande potencial para a avaliação da atividade fisiológica de plantas, especialmente os que incluem bandas *Red-edge* em sua operação matemática. O estudo da relação entre os IV no período que antecede a ocorrência dos danos permite a criação de modelos de previsão. Os modelos de previsão servem para embasar as decisões de manejo. Na literatura, não são identificados trabalhos que avaliem os plantios antes da identificação dos danos de macaco-prego com objetivo de gerar previsão. O presente capítulo tem por objetivo testar, por meio de Índices de Vegetação (IV), a predisposição dos plantios de *P. taeda* aos danos de macacos-prego. O estudo foi realizado em três plantios de *P. taeda* localizados no município de Campo Belo do Sul, SC. Na área, os danos de macacos-prego foram identificados em setembro de 2017. Foram selecionadas aleatoriamente 180 unidades amostrais de área igual a 500 m² (12,61 m de raio) em locais com e sem danos. A fonte de informação para avaliar as diferentes respostas espectrais foram cinco imagens oriundas da constelação de satélites Sentinel-2, coletadas no período anterior a identificação dos danos. Para essas imagens, 15 índices de vegetação foram calculados, além do teor de clorofila da folha. Para avaliar a existência de relação entre os IV e a presença de danos, os dados foram submetidos ao teste de correlação de Spearman. Por meio da Regressão Logística Dicotômica, criou-se o modelo de preditor da ocorrência de danos, selecionando as variáveis regressoras com auxílio da Análise de Componentes Principais. Os resultados demonstram que há correlação entre a variável categórica (presença ou ausência de danos) e os IV calculados para o período que antecede o diagnóstico dos ataques. Essa relação foi mais expressiva para a imagem do mês de dezembro/2016. Os resultados obtidos na Regressão Logística Dicotômica, apoiados pela seleção de variáveis preditoras dos danos de macacos-prego, realizado por meio da Análise de Componentes Principais, apresentou resultados satisfatórios no ajuste dos dados ao modelo o que gerou equações de previsão com explicação global entre 75% e 79%. Por meio dos IV avaliados neste estudo, é possível concluir que os animais buscam os plantios com maior atividade fotossintética e, por consequência, os locais com a maior produção de fotoassimilados.

Palavras-chave: Clorofila. Fotoassimilados. Índices de vegetação. *Red-edge*.

CHAPTER 2 – PREDISPOSITION OF *Pinus taeda* L. POPULATIONS TO THE BARK-STRIPPING BY BLACK CAPUCHIN (*Sapajus nigritus* Goldfuss)

ABSTRACT

Among the possibilities for using digital images data obtained by remote sensors is the calculation of Vegetation Indexes (IV). These indexes present great potential for the physiological activity assessment of plants, especially those that include *Red-edge* bands in their mathematical operation. The study of the relation between the IV in the period that precedes the damage occurrence allows the creation of forecasting models. The forecasting models serve to ground management decisions. In the literature, have not been identified studies that evaluate the stands before the identification of black capuchin damages with the objective of forecasting. The present chapter has as objective to test through the Vegetation Indexes (IV) the predisposition of *P. taeda* stands to damage by black capuchin monkeys. The study was performed in three *P. taeda* stands located at Campo Belo do Sul, SC. In the area, the black capuchin damages were identified in September, 2017. 180 samples of 500 m² (12.61m radius) of area were randomly selected at locations with or without damages. The source of information to assess the different spectral responses were five images derived from the satellite constellation Sentinel-2 collected on the period preceding the damage identification. To these images, 15 vegetation indexes were calculated, besides the chlorophyll content of the leaf. To evaluate the existence of relation between the IV and the presence of damage, the data were subjected to the Spearman's Correlation test. Through the Dichotomous Logistic Regression, the predictor model of damage occurrence was created, selecting the regressor variables with the support of the Principal Component Analysis. The results show that there is a correlation between the categorical variable (presence or absence of damage) and the calculated IV, for the period preceding the diagnosis of the attacks. This relation was more expressive for the image from the month of December/2016. The results obtained in the dichotomous logistic regression, supported by the selection of predictor variables of capuchin monkey damages, performed by the principal component analysis, presented satisfactory results in adjusting the data to the model, and generated forecasting equations with global explanation between 75 % and 79%. Through the IV evaluated in this study, it is possible to conclude that the animals seek the stands with higher photosynthetic activity and, consequently, the places with the higher photoassimilates production.

Keywords: Chlorophyll. Photoassimilates. *Red-edge*. Vegetation indexes.

5.1 INTRODUÇÃO

As folhas são os elementos que mais influenciam no comportamento espectral da vegetação, uma vez que abrigam a maior parte da clorofila. Esse pigmento vegetal atua como fotorreceptor na fotossíntese, absorvendo a luz, principalmente a faixa espectral do vermelho, reduzindo a reflectância e assumindo a tonalidade escura em uma imagem proveniente do Sensoriamento Remoto (PEREIRA *et al.*, 2016).

Propriedades espectrais detectadas remotamente por meio de sensores podem fornecer informações específicas sobre a resposta fisiológica às condições de crescimento e adaptações de plantas ao meio ambiente (DE MARCHI, 2018). Os Índices de Vegetação (IV) são indicados para a avaliação da vegetação, por serem sensíveis ao funcionamento fisiológico dos vegetais, estando em consonância com o crescimento e vigor dos vegetais (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Desde a década de 1960, pesquisadores têm usado IV para modelar variáveis biofísicas da vegetação (DE MARCHI, 2018). Esses índices são combinações matemáticas da resposta espectral de um alvo, obtida por meio de um sensor, em um determinado comprimento de onda (banda). Os IV representam medidas adimensionais, radiométricas, relacionadas com a cobertura verde e seus componentes (SOUZA *et al.*, 2013).

No espectro, a faixa *Red-edge* está localizada entre as faixas vermelha e infravermelha sem sobreposição. A relevância da região espectral do *Red-edge* para a caracterização da vegetação é amplamente aceita (CURRAN *et al.*, 1990; JENSEN, 2009). A transição entre a absorção do vermelho e a reflexão do Infravermelho Próximo (NIR) em plantas pode fornecer informações adicionais sobre a vegetação e suas características (ADELABU *et al.*, 2014).

Os IV que incluem bandas *Red-edge* tem uso relacionado a detecção precoce de estresse hídrico em plantas, na detecção da ocorrência de pragas, no mapeamento de doenças, na avaliação de danos por fogo e vigor das plantas (EITEL *et al.*, 2011). Além dos IV, uma medida disponível para avaliar o vigor das plantas é o teor de clorofila (Cab) o qual tem relação direta com o a produção de fotoassimilados (FENSHOLT *et al.*, 2004).

Os estudos relacionados as florestas, especialmente aos danos de macaco-prego, aliando dados obtidos de sensores remotos, ainda são escassos. Em seu estudo, Pertille (2019) avaliou a performance de 24 IV, comparando-os com a

intensidade dos danos em plantios de pinus. Os resultados foram satisfatórios, reforçando o potencial desses dados.

Desde a descrição do problema, feita por Koehler e Firkowski (1996), até o presente momento, muitos estudos foram publicados trazendo o resultado dos testes de redução dos danos, da caracterização dos danos, da quantificação das perdas, sempre com o foco em uma visão posterior a ocorrência dos danos (KOEHLER; FIRKOWSKI, 1996; ROCHA, 2000; CARVALHO, 2007; MIKICH; LIEBSCH, 2009; ALMEIDA, 2013; MIKICH; LIEBSCH, 2014a; MIKICH; LIEBSCH, 2014b; LIEBSCH; MIKICH, 2015; LIEBSCH *et al.*, 2015; LIEBSCH; MIKICH, 2017; LIEBSCH *et al.*, 2018).

Na literatura, não foram identificados trabalhos que avaliem os plantios antes da identificação dos danos. O presente capítulo busca a investigação do fenômeno de interesse em uma visão anterior a sua ocorrência, visando criar um modelo de previsão dos danos. Desta forma, o objetivo deste capítulo foi testar, por meio de Índices de Vegetação (IV), a predisposição dos plantios de *P. taeda* aos danos de macacos-prego, apoiado na hipótese de que a relação entre o animal e a planta que motiva o dano pode ser prevista.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

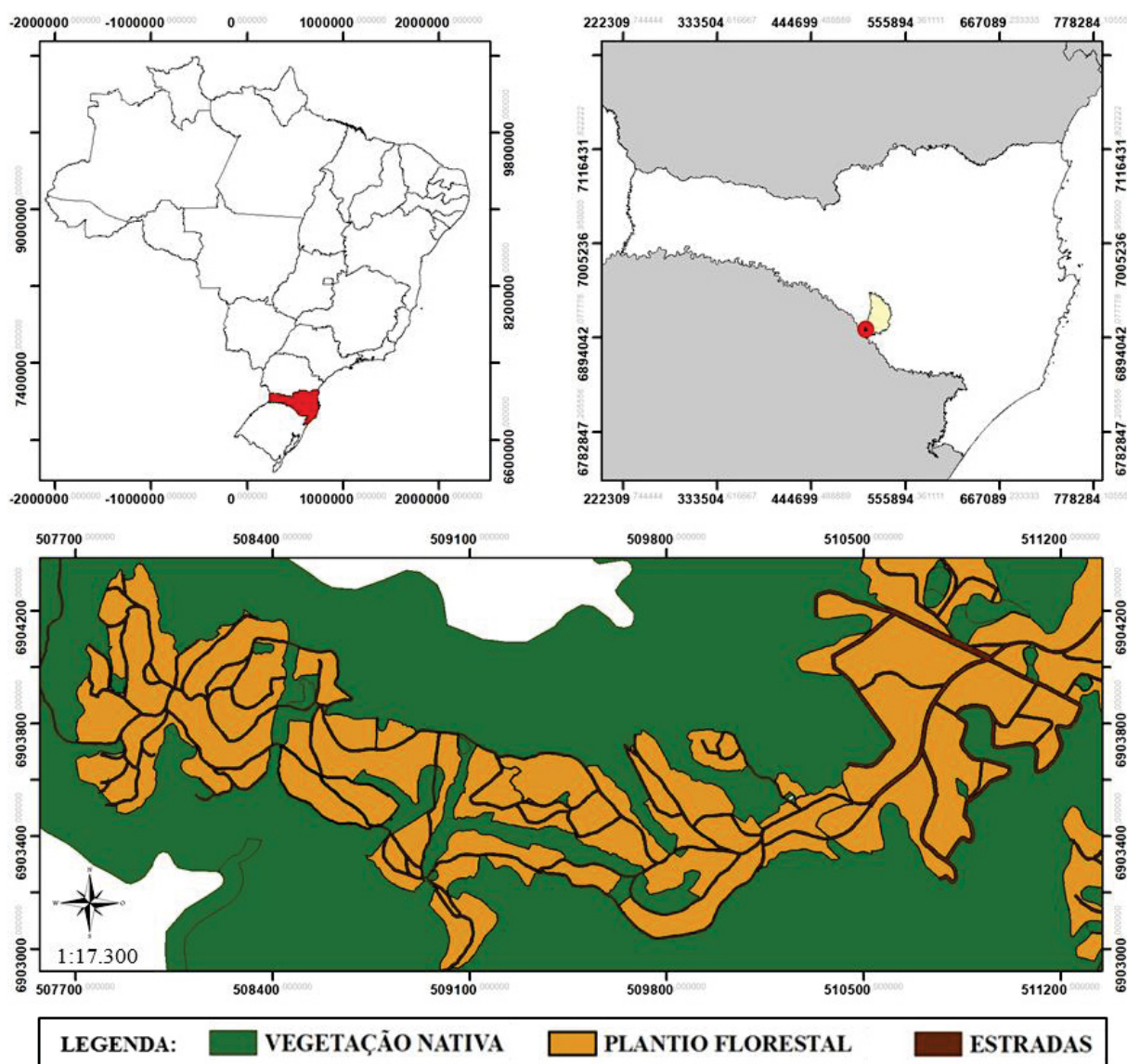
5.2.1 Área de estudo

Localizadas no município de Campo Belo do Sul, estado de Santa Catarina, as áreas de estudo compõem um conjunto de florestas com fins produtivos e conservacionistas. Essas áreas estão inseridas no domínio fitofisionômico de Floresta Ombrófila Mista, bioma Mata Atlântica.

O clima local é típico do planalto meridional brasileiro, com temperatura média anual em torno de 16 °C. Pela classificação de Köppen, predomina o clima Cfb, mesotérmico, subtropical úmido (KÖPPEN, 1928). A precipitação média anual varia de 1.300 a 2.400 mm (IPH, 2009).

O estudo foi realizado em três plantios de *P. taeda* estabelecidos nos anos de 2009, 2010 e 2012, com espaçamento inicial de 2,5 m x 2,5 m (1.600 árv./ha), nas coordenadas UTM 22J 508.957 m E e 6.903.544 m S, sistema de referência SIRGAS2000, a altitude média de 870 m (Figura 4).

Figura 4. Localização e uso da terra na área de estudo.



Fonte: O autor (2019).

A principal espécie plantada nessas propriedades é o *Pinus taeda*, porém são encontrados plantios de *Araucaria angustifolia* O. Ktze, *Cryptomeria japonica* D. Don, *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook., *Cupressus lusitanica* Mill., *Eucalyptus benthamii* Maiden, *Eucalyptus dunnii* Maiden, *Eucalyptus smithii* R. T. Baker, *Eucalyptus viminalis* Labill., *Pinus elliotti* Engelm., *Pinus glabra* Walter, *Pinus greggii* Engelm. e *Pinus patula* Schltdl & Cham. As florestas plantadas na região formam um mosaico na paisagem pela variação de idades, pela diferença no manejo e pelo arranjo dos plantios com a vegetação natural.

5.2.2 Histórico de danos e seleção das áreas

A presença de danos nos plantios de pinus foi identificada no mês de setembro de 2017, durante a atividade de inventário florestal e marcação das árvores para o desbaste. Os plantios que apresentaram dano foram estabelecidos nos anos de 2009, 2010 e 2012.

Em maio de 2019, um aerolevanteamento com o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) recobriu a área atacada e foram gerados mosaicos de ortofotos. Nesses mosaicos, identificaram-se as árvores danificadas com base nas alterações de coloração das copas, por meio da classificação orientada ao objeto, inserindo um ponto em cada árvore danificada. Dessa classificação, uma camada vetorial de pontos foi extraída, expressando os locais com a presença e a ausência de danos nos plantios.

Com base nessa informação, foram selecionadas aleatoriamente 180 unidades amostrais de 500 m² (12,61 m de raio) em locais com e sem danos, em igual proporção. Buscou-se respeitar o limite de 10 m da borda dos talhões, a fim de evitar interferências de outros alvos na amostra. A seleção das amostras foi realizada em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), utilizando as ferramentas de seleção aleatória no programa QGIS versão 3.8.1 (Equipe de desenvolvimento do QGIS, 2018).

5.2.3 Delineamento experimental

O delineamento considerado foi o inteiramente casualizado, com os tratamentos (presença ou ausência de danos nas árvores) distribuídos igualmente nos três anos de implantação (2009, 2010 e 2012). Para cada tratamento foram consideradas condições de manejo e de sítio idênticas em cada uma das idades. Não foram comparados os resultados entre idades, a fim de isolar as fontes de variação. As análises foram realizadas no *software* SPSS versão 3.4.1 (IBM, 2019).

5.2.4 Dados remotamente situados

Com o objetivo de verificar a existência de diferenças entre áreas danificadas e não danificadas no período anterior a identificação dos danos, e que demonstrassem

a predisposição dos plantios, foram utilizadas imagens oriundas da constelação de satélites Sentinel-2 em datas anteriores a identificação do primeiro dano na área (Tabela 4).

Tabela 4. Datas das imagens obtidas.

Imagem	Data	Tempo antes da identificação dos danos (meses)
1	10/09/2016	12
2	06/12/2016	9
3	07/02/2017	7
4	08/05/2017	4
5	07/07/2017	2

Fonte: O autor (2019).

O sensor Sentinel-2 foi escolhido por ser uma base de dados aberta e bastante atual, por possuir as informações das bandas *Red-edge* e por apresentar uma resolução espacial de 10 m. Essas características permitem maior sensibilidade na avaliação da vegetação quando comparado ao sensor LandSat-8. Foram selecionadas cinco cenas da área de estudo que apresentaram viabilidade de uso (ausência de nuvens). Todas as imagens foram adquiridas no portal *Copernicus Open Access Hub*, com as bandas e características descritas em ESA (2019).

As imagens foram obtidas como dados com reflectância no topo da atmosfera, nível 1C (*Top Of the Atmosphere* (TOA)). No programa SNAP (*Sentinel Application Platform*) (ESA, 2019), com auxílio do complemento SEN2COR (ESA, 2019), as imagens foram processadas para o nível 2A, com reflectância na base da atmosfera (*Bottom Of the Atmosphere* (BOA)), incluindo a correção atmosférica.

Em seguida, as imagens foram reamostradas para a resolução espacial de 10 m, utilizando a ferramenta *Resampling*. Com as imagens devidamente processadas, foram derivados 15 índices de vegetação (IV). Os IV foram escolhidos por incluírem em sua equação matemática o uso de bandas *Red-edge* e do vermelho, reconhecidas na ciência por expressar informações acerca da ecofisiologia das plantas (Quadro 3).

Quadro 3. Índices de vegetação utilizados no estudo (Continua...).

Abreviatura	Nome	Autor(es)	Equação
ARI1	Índice de Reflectância de Antocianinas 1	Gitelson <i>et al.</i> (2001)	$(1/B3) - (1/B5)$
ARI2	Índice de Reflectância de Antocianinas 2	Gitelson <i>et al.</i> (2001)	$(B8/B3) - (B8/B5)$
CHR	Índice de Clorofila da Borda Vermelha	Gitelson <i>et al.</i> (2003)	$(B5/B8) - 1$

Quadro 3. Continuação ...

Abreviatura	Nome	Autor(es)	Equação
CHRR	Índice de Clorofila Modificado do Vermelho e da Borda Vermelha	Xie <i>et al.</i> (2018)	$(B8) / [a^* B4 + (1 - a)^* B5] - 1$
CRI2	Índice de Reflectância de Carotenoides 2	Gitelson <i>et al.</i> (2002)	$(1/B2) - (1/B5)$
IRECI	Índice de Clorofila da Borda Vermelha Invertido	Frampton <i>et al.</i> , 2013	$(B7 - B4) / (B5 / B6)$
MCARI	Índice de Relação de Absorção de Clorofila Modificado	Daughtry <i>et al.</i> (2000)	$[(B5 - B4) - 0.2 * (B5 - B3)] * (B5 / B4)$
MTCI	Índice Terrestre de Clorofila MERIS	Dash e Curran (2007)	$(B6 - B5)/(B5 - B4)$
NDI45	Índice de Diferença Normalizado	Frampton <i>et al.</i> (2013)	$(B5 - B4) / (B5 + B4)$
NDVIR	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da Borda Vermelha	Fernández-Manso <i>et al.</i> (2016)	$(B8 - B6) / (B8 + B6)$
NDVIRR	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do Vermelho e da Borda Vermelha	Xie <i>et al.</i> (2018)	$\{B8 - [a^* B4 + (1 - a)^* B5]\} / \{B8 + [a^* B4 + (1 - a)^* B5]\}$
PSRI	Índice de Reflectância da Senescência da Planta	Mezylak <i>et al.</i> (1999)	$(B4 - B2) / (B6)$
PSSRa	Índice de Vegetação da Razão Simples para Pigmentação Específica	Blackburn (1998)	$B8 / B4$
REEVI	Índice de Vegetação Melhorado da Borda Vermelha	Adan, 2017	$2.5 [(B6 - B4) / (B6 + 6.0 * B4 - 7.5 * B2 + 1.0)]$
S2REP	Índice de Posição da Borda Vermelha	Frampton <i>et al.</i> , 2013	$705 + 35 [(B4 + B7)/2 - B5] / (B6 - B5)$

Em que: IV: índices de vegetação; B2: *blue* (490 nm); B3: *green* (560 nm); B4: *red* (665 nm); B5: *Red-edge* 1 (705 nm); B6: *Red-edge* 2 (740 nm); B7: *Red-edge* 3 (783 nm); B8: NIR (842 nm); a: fatores de ajuste = 0,5; nm: unidade de medida, nanômetros, refere-se nesta estudo ao comprimento de onda médio.

Fonte: Adaptado de Pertille (2019).

Calculou-se também o teor de clorofila da folha (Cab), um indicador da atividade fotossintética, com o objetivo de auxiliar na interpretação dos resultados dos IV. Com os IV e o Cab calculados, foram extraídas as informações do valor médio de cada índice para todas as amostras em ambiente SIG.

5.2.5 Avaliação da correlação dos dados

Para avaliar a existência de correlação entre os IV e a presença ou ausência de danos nas árvores, os dados foram submetidos ao teste de correlação. Como há evidências de que as variáveis apresentam distribuição não-normal, aferida por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade, optou-se pela correlação de Rho de Spearman.

5.2.6 Seleção das variáveis

Para avaliar qual IV representa a maior sensibilidade na detecção da predisposição dos plantios, usou-se a Análise de Componentes Principais (*Principal Components Analysis* – PCA). Com base no resultado da PCA, os IV com a maior porcentagem de importância foram considerados como variáveis regressoras na construção de modelos de regressão, a fim de estimar a predisposição dos plantios.

O uso de PCA para redução das variáveis regressoras em modelos de regressão logística é defendido por Andruski-Guimarães (2013), principalmente com o objetivo de reduzir multicolinearidade.

Os parâmetros usados para avaliação da performance da PCA foram:

1. A medida de Kaiser-Meyer-Olkin, o qual trata-se de uma medida de adequacidade da amostra para a realização da Análise Fatorial, permitindo avaliar amostras inadequadas;
2. O teste de esfericidade de Bartlett, o qual verifica a ausência de correlação entre as variáveis. A hipótese básica diz que a matriz de correlação da população é uma matriz identidade a qual indica que o modelo fatorial é inadequado;
3. O critério de Kaiser do autovalor (“*eigenvalue*”), o qual considera a contribuição dos componentes na explicação da variância dos dados. Foram considerados os componentes com autovalor maior que 1;
4. O gráfico de escarpa (*scree plot*), o qual representa visualmente a contribuição dos autovalores, permitindo validar o número de componentes obtido na análise.

5.2.7 Construção do modelo de regressão

Para criação do modelo de regressão, utilizou-se a Regressão Logística Dicotômica, por se tratar de uma variável dependente categórica dicotômica (AUSÊNCIA DE DANO = 0; PRESENÇA DE DANO = 1). Não foram adicionados fatores de interação, pois não existem justificativas teóricas que validem essa operação.

Para avaliar a construção do modelo para cada um dos anos de implantação dos plantios, foram usadas as seguintes estatísticas:

1. O fator de inflação da variância (VIF) da regressão sobre cada variável do modelo para avaliar a multicolinearidade, devido à sensibilidade da Regressão Logística Dicotômica à multicolinearidade entre as variáveis preditoras, sendo rejeitados os modelos com VIF superior a 10 para qualquer uma das suas variáveis;
2. Teste de Wald, que testa se a hipótese nula de que o conjunto de parâmetros é igual à média da variável dependente; e
3. R^2 de Nagelkerke, o qual expressa a capacidade do modelo em explicar as variações registradas na variável dependente.

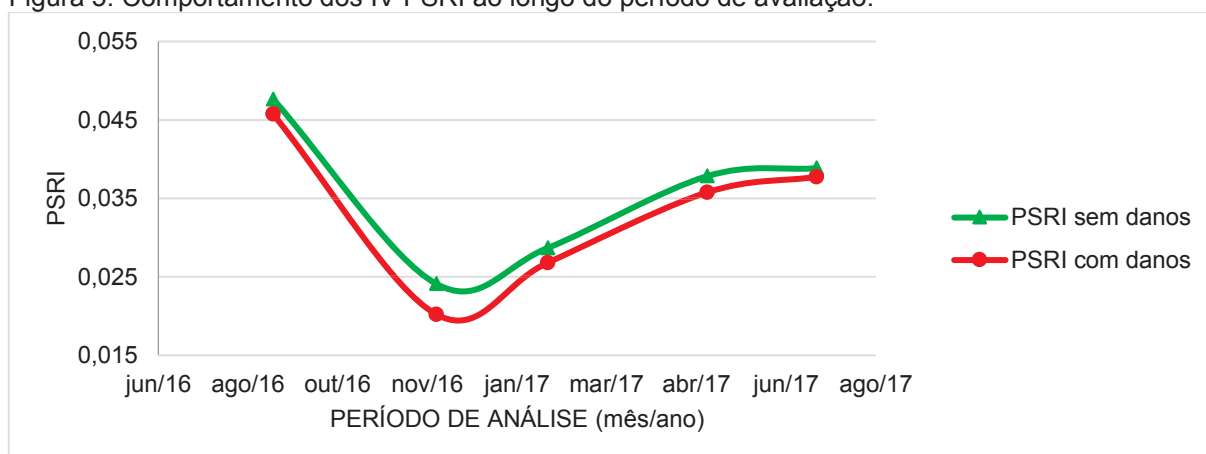
5.2.8 Validação do modelo de previsão

Das 180 amostras selecionadas para esse estudo, 30 foram separadas para a validação do modelo de previsão. Por meio da validação cruzada, foram comparados os resultados do modelo de previsão com os resultados observados, ou seja, a ocorrência dos danos de macaco-prego nas árvores. Com esses valores, uma matriz de confusão foi elaborada e, por meio dela, foram obtidos os valores de acurácia do modelo de previsão, o Índice Kappa e a Exatidão Global.

5.3 RESULTADOS

O comportamento espectral das amostras foi diferente em cada imagem avaliada. Todos os índices demonstraram flutuação nos valores, apresentando sensibilidade na detecção de alterações na vegetação. Isso pode ser observado na Figura 5, com o exemplo do índice PSRI (Índice de Reflectância da Senescência da Planta), o qual resultou em diferentes valores ao longo do período de avaliação. Graficamente é possível observar que as variações ao longo do ano seguiram um comportamento sazonal onde os maiores valores estão em época coincidente com o inverno e os menores valores estão em época que coincide com o verão.

Figura 5. Comportamento dos IV PSRI ao longo do período de avaliação.



Fonte: O autor (2019).

Ampla correlação entre os IV e a presença de danos foi identificada na imagem de dezembro/2016. Esse resultado sugere que o comportamento dos IV nos plantios, quando sadios, foi diferente para as áreas com e sem de danos. Para as demais imagens, não foram encontradas correlações entre a variável categórica (presença ou ausência de danos nas árvores) e os IV (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados dos testes de normalidade e correlação dos IV da imagem de dezembro/2016 para os plantios de pinus implantados nos anos de 2009, 2010 e 2012 (Continua...).

ANO DE IMPLANTAÇÃO 2009	
IV	Coefficiente Rho
CRI2	-0,320*
IRECI	0,257*
PSRI	-0,342*
REEVI	0,333*
ANO DE IMPLANTAÇÃO 2010	
IV	Coefficiente Rho
ARI1	-0,404*
Cab	0,398*
CHR	-0,491*
CHRR	0,520*
CRI2	-0,331*
IRECI	0,612*
MCARI	0,259*
MTCI	0,452*
NDVIRR	0,522*
PSRI	-0,563*
PSSRa	0,520*
REEVI	0,570*
S2REP	0,260*

Tabela 5. Continuação ...

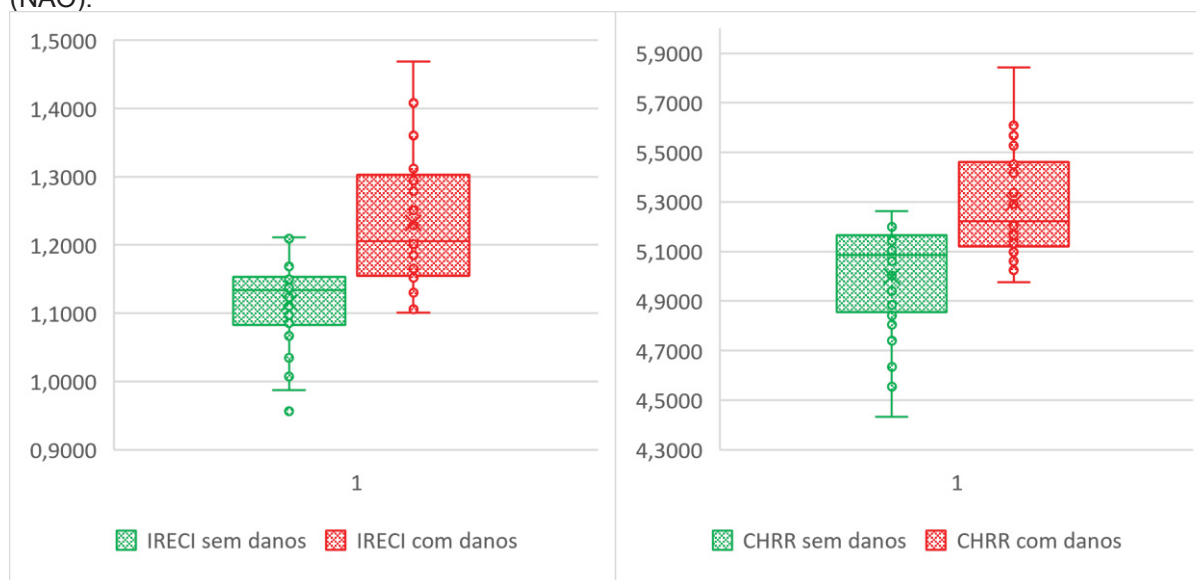
ANO DE IMPLANTAÇÃO 2012	
IV	Coefficiente Rho
ARI2	0,442*
CHRR	0,408*
IRECI	0,385*
NDI45	0,523*
MCARI	0,463*
NDVIRR	0,421*
PSRI	-0,496*
PSSRa	0,485*
REEVI	0,425*

Em que: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2019).

Na Tabela 5, é possível visualizar que o povoamento implantado em 2010 foi o que apresentou os melhores coeficientes de correlação. Para esse povoamento são encontradas as diferenças mais claras entre as áreas com e sem danos nos valores dos IV (Figura 6).

Figura 6. Gráficos *boxplots* demonstrando a diferença entre os valores obtidos para os IV IRECI e CHRR, quando ainda sadios, nas amostras sem a presença de danos (SIM) e com a presença de danos (NÃO).

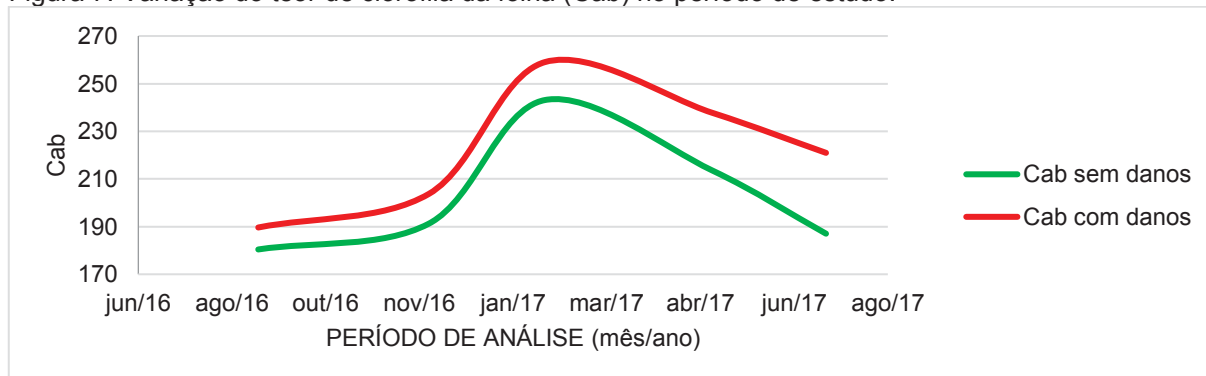


Fonte: O autor (2019).

O teor de clorofila da folha (Cab) apresentou desempenho regular ao longo do período avaliado, em todas as imagens. As áreas com danos obtiveram resultados superiores ao longo de todo o período, acompanhando a flutuação ao longo do tempo,

como pode ser visualizado na Figura 7. O Cab aumenta em direção ao verão e diminui em direção ao inverno, tendo seu pico no final do verão.

Figura 7. Variação do teor de clorofila da folha (Cab) no período de estudo.



Fonte: O autor (2019).

Com base no teste de correlação e provada a aptidão dos dados em explicar a variável categórica, a Análise de Componentes Principais foi conduzida. Os resultados obtidos para cada ano de implantação estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados da Análise de Componentes Principais para os três plantios.

ANO DE IMPLANTAÇÃO	KMO	BARTLETT	N	IV	CONT.
2009	0,779	X^2 231,6; $p < 0,001$	1	REEVI	84,04%
2010	0,595	X^2 1.750,7; $p < 0,001$	3	IRECI; MCARI e ARI1	90,52%
2012	0,722	X^2 504,9; $p < 0,001$	1	CHRR	79,91%

Em que: KMO = medida de Kaiser-Meyer-Olkin; BARTLETT = teste de esfericidade de Bartlett; N = número de componentes selecionados na PCA; IV = Índice de vegetação; e CONT = Contribuição para explicação da variância.

Fonte: O autor (2019).

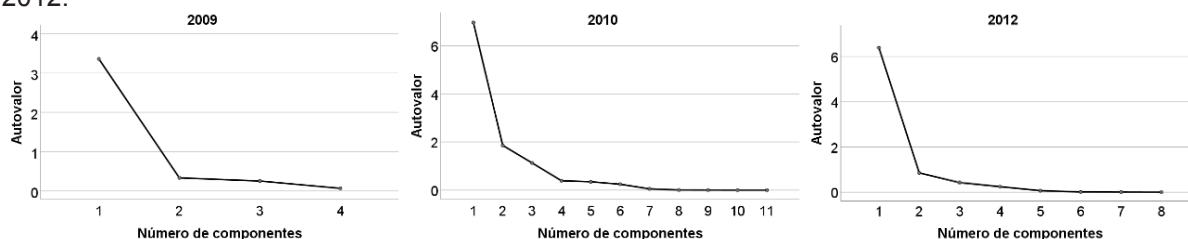
Em geral, a medida de Kaiser-Meyer-Olkin verificou a boa adequação amostral para a análise ($KMO > 0,595$) e o teste de esfericidade de Bartlett indicou que as correlações são suficientes para a realização da análise. A PCA para o povoamento implantado em 2009 selecionou um componente, o IV REEVI, obedeceu ao critério de Kaiser do autovalor ("eigenvalue") maior que 1, com 84,04% de contribuição para explicação da variância.

Para o povoamento implantado em 2010, a análise indicou três componentes, os IV IRECI, MCARI e ARI1, que juntos contribuem em 90,52% da variância. Por fim,

para o povoamento implantado no ano de 2012, a PCA indicou um componente, o IV CHRR, que contribuiu em 79,91% para a explicação da variância dos dados.

Os gráficos de escarpa (*scree plot*) (Figura 8) mostraram que os componentes selecionados para cada caso estão posicionados antes da inflexão. Considerando o tamanho da amostra e a convergência entre o *scree plot* e o critério de Kaiser-Meyer-Olkin, manteve-se o número de componentes obtidos na PCA.

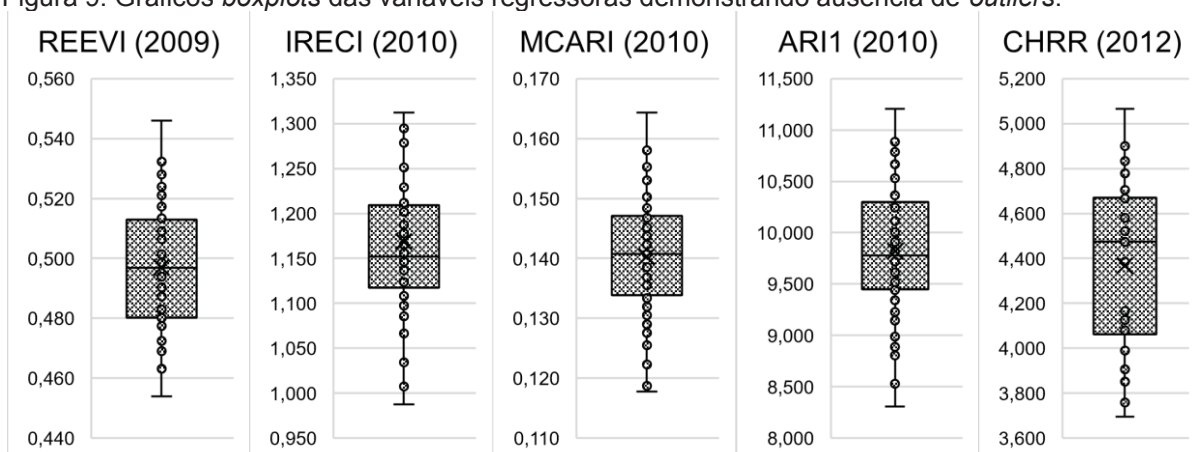
Figura 8. Gráficos de escarpa obtidos na PCA para os plantios implantados nos anos de 2009, 2010 e 2012.



Fonte: O autor (2019).

Foi comprovada a ausência de multicolinearidade para os dados do povoamento implantado em 2010 para os IV selecionados nas três componentes: IRECI (Tolerância=0,495 e FIV=2,022), MCARI (Tolerância=0,853 e FIV=1,173) e ARI1 (Tolerância=0,457 e FIV=1,828). Também foi avaliada a presença de *outliers* (Figura 9), permitindo o atendimento das premissas para a realização da Regressão Logística Dicotômica.

Figura 9. Gráficos *boxplots* das variáveis regressoras demonstrando ausência de *outliers*.



Fonte: O autor (2019).

De posse das variáveis preditoras, executou-se a Regressão Logística Dicotômica para verificar se os IV são preditores do descascamento de árvores de

pinus por macacos-prego (*S. nigritus*). Os parâmetros dos modelos de regressão estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros obtidos na Regressão Logística Dicotômica.

Ano	IV	Teste de Wald	R ² Nagelkerke	Explicação Global
2009	REEVI	0,013 p=0,911	0,000	50,0%
2010	IRECI	11,522 p=0,001	0,551	75,0%
2012	CHRR	6,302 p=0,013	0,336	79,3%

Fonte: O autor (2019).

Os parâmetros avaliados atestaram o desempenho da Regressão Logística Dicotômica para as amostras dos plantios implantados no ano de 2010 e 2012. As amostras avaliadas para o povoamento implantado em 2009 não apresentaram bom desempenho na Regressão Logística Dicotômica para o IV selecionado como preditor. No teste de Wald, a variável preditora (REEVI) não apresentou contribuição significativa (p=0,911) no modelo.

Os IV MCARI e ARI1 foram eliminados do modelo para as amostras do povoamento implantado em 2010, pois não apresentaram contribuição significativa aferida pelo teste de Wald, com p=0,375 e p=0,965 respectivamente. Os coeficientes do modelo são apresentados na Tabela 8. De acordo com os coeficientes do modelo previsor apresenta-se as equações (1 e 2) obtidas para os plantios implantados nos anos de 2010 e 2012.

Tabela 8. Coeficientes dos modelos previsores obtidos por Regressão Logística Dicotômica.

Ano	β_0	β_1
2010	-29,256	25,134
2012	-15,383	3,555

Fonte: O autor (2019).

$$\text{Presença de danos}_{(\text{Plantio 2010})} = \frac{1}{1 + e^{-29,256 + (25,134 * \text{IRECI})}} \quad (1)$$

$$\text{Presença de danos}_{(\text{Plantio 2012})} = \frac{1}{1 + e^{-15,383 + (3,555 * \text{CHRR})}} \quad (2)$$

Os valores obtidos por meio da validação cruzada, utilizando a matriz de confusão, confirmam o desempenho do modelo na explicação da variável dependente

(danos de macaco-prego). A acurácia do modelo de previsão foi de 80% para as áreas com danos e 67% para as áreas sem danos, o Índice Kappa foi de 0,5384 para as áreas com danos e 0,4117 para as áreas sem danos e a Exatidão Global de 73,3%.

5.4 DISCUSSÃO

Os índices usados no presente estudo apresentaram sensibilidade, captando variações na resposta espectral das áreas atacadas e não atacadas enquanto sadias. Houve uma diminuição no valor dos índices que possuem escala diretamente proporcional com a reflectância para as bandas do vermelho e do azul e inversamente proporcional com a reflectância das bandas *Red-edge*, nas épocas entre o final da primavera e início do verão, e aumento dos valores entre o final do outono início do inverno. Essa variação é encontrada em muitas espécies de plantas e é explicada pela mudança do nível de pigmentos foliares conforme as épocas do ano (GERUM *et al.*, 1995).

Inoue e Martins (2006) encontraram flutuação na concentração de clorofila e, por consequência, na taxa fotossintética em seu estudo conduzido em árvores de *Grevillea robusta* Cunn. (grevílea) em Ponta Grossa, estado do Paraná, em altitude similar à do presente estudo. A variação da taxa fotossintética de grevílea acompanhou a mudança de temperatura durante o período avaliado, ou seja, mostrou elevação no sentido da primavera, verão, e diminuição no sentido do inverno para o outono.

Esse comportamento é considerado comum para boa parte das espécies lenhosas do hemisfério Sul, principalmente em florestas subtropicais (MACHADO *et al.*, 2002), região onde a fotossíntese é influenciada pelas estações do ano. É interessante salientar que o teor de pigmentos na folha e a reflectância da banda vermelha são inversamente proporcionais. Assim, quanto maior a concentração de pigmentos na folha, maior é a taxa fotossintética e menor é a reflectância da banda vermelha. Isso ocorre também com a banda azul (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em direção ao infravermelho, essa relação torna-se diretamente proporcional, ou seja, o infravermelho é um comprimento de onda não utilizado pelos vegetais na fotossíntese. No espaço compreendido entre a banda do vermelho e do infravermelho, estão as bandas do *Red-edge* e do infravermelho próximo. As bandas *Red-edge*, presentes nas imagens Sentinel-2, possuem um comportamento próximo ao

encontrado para a banda do infravermelho, porém sendo mais sensíveis quanto à refletância dos pigmentos vegetais (PEREIRA *et al.*, 2016), reforçando o uso desses índices para avaliação da fisiologia das plantas (PEDRALI, 2019).

A correlação entre a presença de danos e a variação das respostas espectrais de cada IV foi identificada na imagem de dezembro de 2016. Dezembro é o mês que no hemisfério Sul representa o ápice da primavera e início do verão, período que ocorre a maior expressão dos pigmentos foliares fotossinteticamente ativos e, portanto, permite a maior sensibilidade dos IV (BUJOKAS *et al.*, 2010).

Inoue (2010), avaliando a concentração de pigmentos fotossinteticamente ativos em árvores de pinus no Paraná, valida esse resultado, pois relata que há uma tendência de elevação dos pigmentos desde o inverno à primavera, mesmo período em que os macacos-prego danificam as árvores. Esse padrão não é identificado para outras espécies comuns na Floresta Ombrófila Mista (FOM), como a bracatinga-branca e a araucária, onde a concentração de pigmentos é constante durante o ano (INOUE, 2010).

No hemisfério Sul, a partir do solstício de inverno, os níveis de radiação solar aumentam gradativamente e chegam ao seu pico no solstício de verão, que ocorre no mês de dezembro. A partir dessa data, há uma redução gradativa da radiação solar até a sua mínima expressão no solstício de inverno, mês de junho, completando o ciclo. A radiação solar é um importante fator ecológico do qual todas as plantas dependem. Baixa intensidade luminosa causa estresse para as plantas pela limitação da fotossíntese, reduzindo o ganho de carbono e o crescimento vegetal (LAMBERS *et al.*, 1998). Para muitas espécies, a interrupção no crescimento é visível na avaliação dos anéis de crescimento, ou seja, células de xilema com características anatômicas diferentes são produzidas em resposta a fase de baixo crescimento da árvore.

A correlação dos dados foi testada e o maior valor encontrado foi igual a 0,612. Esse resultado retrata uma relação entre os índices de vegetação e a previsão dos ataques biologicamente fraca e em casos moderada segundo a classificação proposta por Vieira (2016), onde coeficientes de correlação até 0,5 são considerados fracos, de 0,5 a 0,75 moderados e acima de 0,75 fortes.

Porém, há evidências de que o comportamento das variáveis não siga uma associação linear, que é o comportamento medido pela correlação de Spearman. Nesse caso, por mais que Vieira (2016) determine a classificação como uma relação biológica fraca, acredita-se que as variáveis usadas sejam boas preditoras como está

demonstrado na Análise de Componentes Principais (PCA), onde um componente explica mais de 84% da variação dos dados.

Sendo assim, a Regressão Logística Dicotômica, apoiada pela seleção de variáveis preditoras dos danos de macacos-prego via PCA, apresentou resultado satisfatório no ajuste dos dados ao modelo, e gerou equações de previsão com assertividade global moderada, ou seja, superando 75%, segundo a escala proposta por Pinheiro (2014). Ainda, após validação cruzada os valores encontrados para a acurácia do modelo de previsão, Índice Kappa e acurácia global, validam o uso do modelo.

Apesar dos resultados mostrarem aptidão dos modelos preditores para previsão dos descascamentos de pinus por macaco-prego, a maior contribuição deste trabalho está nos resultados que demonstram que a predileção dos animais em atacarem os plantios mais vigorosos, com maiores teor de clorofila da folha (Cab), ou seja, maior capacidade de produção de fotoassimilados. De maneira genérica, esse resultado valida o uso de índices de vegetação como ferramenta de suporte na escolha dos locais com maior produtividade primária e, maior propensão ao descascamento de árvores por macacos-prego.

O resultado encontrado por Koehler e Firkowski (1996) e Liebsch *et al.* (2015) mostram essa relação entre os macacos-prego e as árvores mais vigorosas. Os autores observaram que os danos por macaco-prego estavam presentes em todas as classes diamétricas, mas houve tendência de predileção pelas árvores mais vigorosas, com Diâmetro à Altura do Peito (DAP) acima da média do povoamento. Trata-se de um resultado complementar, porém diferente do encontrado neste estudo, uma vez que a escala espacial é diferente. Enquanto Koehler e Firkowski (1996) e Liebsch *et al.* (2015) explicam quais árvores serão atacadas, este estudo indica quais locais serão atacados, ou seja, trata-se de predição.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), o teor de clorofila nas folhas possui relação diretamente proporcional com a atividade fotossintética das plantas. Essa consideração fica evidente quando folhas maduras são avaliadas em comparação a folhas jovens. As maduras normalmente possuem maiores concentrações de clorofila, produzindo mais carboidratos do que necessitam para manter suas atividades metabólicas e crescimento.

O saldo positivo de fotoassimilados é translocado em diferentes formas (p. ex. na forma de sacarose) para tecidos fotossinteticamente menos ativos. Essa

movimentação de fotoassimilados na planta é explicada pela hipótese do fluxo por pressão da fonte (local onde o saldo de produção é positivo) para o dreno (local de consumo, saldo de produção negativo) proposta por Munch em 1930, conhecida amplamente como a Teoria de Munch (LAMBERS *et al.*, 1998). O transporte dos açúcares sintetizados nas folhas ocorre através do floema o tecido vivo procurado pelos macacos-prego nas árvores.

Macacos-prego apresentam sazonalidade no uso de *Pinus* spp. para o consumo. No entanto, os motivos que definem essa relação sazonal ainda não foram descobertos (DI BITETTI, 2019). Os sistemas naturais possuem um vasto número de interações bióticas e abióticas que resultam em uma série indefinida de comportamentos biológicos difíceis de mensurar (MENDONÇA-FURTADO, 2012).

Os açúcares (carboidratos) consumidos por macacos-prego são rapidamente absorvidos e sua principal função é fornecer energia. Almeida *et al.* (2012), avaliando a composição da seiva de pinus, mostraram que a quantidade de carboidratos presentes varia de 63% a 72% da massa seca, ou seja, um alimento energético e atrativo para o animal.

No ambiente natural, macacos-prego encontram em frutos as principais fontes de carboidratos. Liebsch e Mikich (2009) compararam a baixa disponibilidade de frutos ao aparecimento de danos de macacos-prego em árvores. Em seus outros estudos, os pesquisadores reforçam que a baixa qualidade ambiental e alta fragmentação das áreas que margeiam os plantios florestais forçam os animais a danificarem as árvores em busca da compensação da dieta.

No entanto, uma das principais características da Floresta Ombrófila Mista é a sazonalidade marcante na produção de frutos durante o período frio (inverno) (LIEBSCH; MIKICH, 2009). Há uma compensação nesses locais pela produção de sementes de *Araucaria angustifolia* (Araucária).

Cabe aqui discutir que essa sazonalidade na oferta de alimentos ocorre naturalmente e que pode ter relação com os resultados encontrados por Hass (2012). O autor salientou que aparentemente o bugio-ruivo demonstra uma flexibilidade ecológica e alimentar maior do que o macaco-prego no local de estudo e complementou que, pelas características de clima, aspectos botânicos e fitossociológicos, a utilização pelo macaco-prego (*S. nigritus*) pode ter características específicas, inferindo que os animais podem sair desses locais, utilizando corredores

ecológicos, seguindo para remanescentes de Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Estacional Decidual (FED) em determinadas épocas.

Essas movimentações realizadas por *S. nigritus* foram comprovadas por Sevghenian (2012), onde o comportamento espacial e o padrão de ocupação da área de uso por grupos de *S. nigritus* têm sido relacionados ao seu comportamento alimentar e a sazonalidade na oferta de recursos. Dependendo do local em que esses animais estão inseridos, padrões diferentes de orientação espacial e estratégias para lidar com a escassez de frutos são usados (FRAGASZY *et al.*, 2004), normalmente aumentando a área de exploração do ambiente.

Certamente, a falta de alimento no ambiente natural causa estresse nas populações de macaco-prego. Mendonça-Furtado (2012) explica que o aprofundamento da compreensão da fisiologia do estresse é baseado na resposta fisiológica, chamada resposta estressora, são fundamentais para o entendimento do comportamento dos animais. Estudos de ecologia mostram que o estresse pode ser um indicativo de pressão seletiva (PRIDE, 2005), ou ainda de adaptabilidade.

A pressão ecológica existente, decorrente a sazonalidade na oferta de alimentos, causa estresse para as populações de macaco-prego e, quando somada a expansão de áreas com florestas de pinus, pode gerar adaptação da dieta desses animais. O que potencializa essa reação é a grande capacidade de aprendizagem desses animais e a discutível tolerância à proximidade com os humanos, dando oportunidade dos animais se beneficiarem dessa situação (STRUM, 2010).

5.5 CONCLUSÃO

Existe correlação entre os Índices de Vegetação e a ocorrência de danos em árvores de *Pinus taeda*. Há evidência que os animais buscam plantios com maior concentração de clorofila nas folhas e, por consequência, maior produção de fotoassimilados. Essa relação entre IV e áreas com e sem danos permite empregar dados remotamente situados para prever a ocorrência de danos, gerando modelos de desempenho moderado.

REFERÊNCIAS

ADAN, M. S. **Intergrating Sentinel-2 derived vegetation indices and terrestrial laser scanner to estimate aboveground biomass/carbon in ayer hitam tropical**

forest Malaysia. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Geo-informação). Universidade de Twente, Enschede. 2017.

ADELABU, S.; MUTANGA, O.; ADAM, E. Evaluating the impact of *Red-edge* band from Rapideye image for classifying insect defoliation levels. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 95, p. 34–41, 2014.

ALMEIDA, A. **Influência da disponibilidade sazonal e da composição química de itens alimentares no consumo do macaco-prego.** 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto. 2013.

ALMEIDA, A.; MIKICH, S. B.; HELM, C. V. Caracterização química da seiva de quatro espécies de pinus em área com ocorrência de descascamento por macaco-prego. In: **Anais do XII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas.** Colombo, PR, 2012.

ANDRUSKI-GUIMARÃES, I. Análise de Componentes Principais Aplicada à estimação de parâmetros no Modelo de Regressão Logística Quadrático. **Revista TEMA Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 1, p. 57-68. 2013.

BLACKBURN, G. A. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 4, p. 657–675, 1998.

BUJOKAS, W. M.; MARTINS, K. G.; MARQUES, R. Crescimento, teores de clorofila e de bioelementos em indivíduos jovens de *Schinus terebinthifolius* expostos à poeira de cimento. **Revista Floresta**, v. 40, n. 3, p. 523-534. 2010.

CARVALHO, D. R. J. **Predação em *Pinus* spp. por *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) (Primates; Cebidae) na região nordeste do Paraná - Brasil.** 2007. 64 f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

CURRAN, P.J., DUNGAN, J.L., GHOLZ, H.L. Exploring the relationship between reflectance red-edge and chlorophyll content in slash pine. **Tree Physiology**. v. 7, p. 33–48, 1990.

DASH, J.; CURRAN, P.J. Evaluation of the MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI). **Advances in Space Research**, v. 39, n. 1, p. 100–104, 2007.

DAUGHTRY, C. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 229–239, 2000.

DE MARCHI, J. **Sensor ativo de dossel na gestão da adubação nitrogenada em algodoeiro no estado de Mato Grosso.** 2018. 66 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Sinop. 2018.

DI BITETTI, M. S. Primates bark-stripping trees in forest plantations – A review **Forest Ecology and Management**. v.449. 2019.

EITEL, J.U.H., VIERLING, L.A., LITVAK, M.E., LONG, D.S., SCHULTHESS, U., AGER, A.A., KROFCHECK, D.J., STOSCHECK, L. Broadband, *Red-edge* information

from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 3640-3646. 2011.

EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DO QGIS. **QGIS 3.8.1**: Geographic Information System User Guide. Open Source Geospatial Foundation Project. 2018.

ESA. European Space Agency. **SNAP and Sentinel Toolboxes**. 2019. Disponível em: <http://step.esa.int/main/download/>. Acesso em: 14 de maio de 2019.

FENSHOLT, R.; SANDHOLT, I.; RASMUSSEN, M.S. Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n. 3–4, p. 490-507, 2004.

FERNÁNDEZ-MANSO, A.; FERNÁNDEZ-MANSO, O.; QUINTANO, C. SENTINEL-2A Red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 50, p. 170–175, 2016.

FRAGASZY, D. M.; VISALBERGHI, E.; FEDIGAN, L. M.. **The Complete Capuchin – The Biology of the Genus Cebus**. United Kingdom: Cambridge University Press, 2004.

FRAMPTON, W.F.; DASH, J.; WATMOUGH, G.; MILTON, E.J. Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 82, p. 83–92, 2013.

GERUM, M.; INOUE, M.T. Variação estacional da pigmentação foliar de quatro espécies arbóreas em função da poluição urbana. In: **Resumos do Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 1995.

GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T. J.; RUNDQUIST, D. C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 5., p. 6, 2003.

GITELSON, A.A.; MERZLYAK, M.N.; CHIVKUNOVA, O.B.; GITELSON, A.A.; MERZLYAK, M.N.; CHIVKUNOVA, O.B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. **Photochemistry and Photobiology**, v. 74, n. 1, p. 38–45, 2001.

GITELSON, A.A.; ZUR, Y.; CHIVKUNOVA, O.B.; MERZLYAK, M. N. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. **Photochemistry and Photobiology**, v. 75, n. 3, p.272–281, 2002.

HASS, G. P. **Levantamento populacional do bugio-ruivo (*Alouatta clamitans*) e do macaco-prego (*Sapajus nigritus*) em fragmentos florestais de Mata de Araucária em Fazenda Souza, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil**. 2012. 29 f. Monografia (Especialização em Diversidade e Conservação da Fauna). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2012.

IBM. **IBM SPSS Statistics for Windows**, Versão de demonstração. Armonk, NY: IBM Corporation. 2019.

INOUE, M. T. TEOR DE CLOROFILA DE SEIS ESPÉCIES ARBÓREAS SOB INFLUÊNCIA DA POEIRA DE CIMENTO. **Revista Floresta**, v. 40, n. 2, p. 457-464. 2010.

INOUE, M. T.; MARTINS, E. G. Variação sazonal da fotossíntese e clorofila em progênies de *Grevillea robusta* Cunn. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1. p. 12, 2006.

INOUE, M. T.; RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, Y.S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF/UFPR, 1984.

IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas). **Relatório de atividades nº 89**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução por: EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; SANTOS, A.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S. São José dos Campos: Parêntese. 2009. Título original: Remote sensing of the environment: an earth resource perspective.

KOEHLER, A.; FIRKOWSKI, K. Descascamento de pinus por macaco-prego (*Cebus apella*). **Revista Floresta**. v. 24, n. 1/2, p. 61-75.1996.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LAMBERS, H.; III, F. S. C.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. New York: Springer-Verlag, 1998.

LIEBSCH, D.; ÁVILA PAZ MOREIRA, J. M. M.; OLIVEIRA, E. B.; MIKICH, S. B. Impacto do descascamento de árvores de *Pinus taeda* L. por macacos-prego na produção e receita em plantios com desbastes. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 48-55. 2018.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B. Damage caused by brown-capuchin monkeys to nine *Pinus* species and the implicatios for forest management, **Revista Floresta**, v. 47, n. 1, p. 37-42. 2017.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B. First record of Eucalyptus spp. bark-stripping by brown-capuchin monkeys (*Sapajus nigritus*, Primates: Cebidae). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 501-505. 2015.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B.; OLIVEIRA, E. B. de; MOREIRA, J. M. M. A. P. Descascamento de *Pinus taeda* por macacos-prego (*Sapajus nigritus*): tipos e intensidades de danos e seus impactos sobre o crescimento das árvores. **Revista Scientia Forestalys**, v. 43, n. 105, p. 37-49, 2015

MACHADO, E.C.; MEDINA, L.C.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial de água na folha de laranjeira 'Valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, n.1, p. 53-58, 2002.

MENDONÇA-FURTADO, O. **Medidas de metabólitos de cortisol em macacos-prego (Gênero *Sapajus*): análise comparativa entre populações para investigação de fatores estressores**. 2012. 92 f. Tese (Doutorado em Psicologia). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

MERZLYAK, M. N.; GITELSON, A. A.; CHIVKUNOVA, O. B.; RAKITIN, V. Y. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, v. 106, n. 1, p. 135–141, 1999.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. **O Macaco-prego e os Plantios de *Pinus* spp.** Colombo: Embrapa Florestas. 2009. Comunicado Técnico.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. Assessment of food supplementation and surveillance as techniques to reduce damage caused by black capuchin monkeys *Sapajus nigritus* to forest plantations. **Current Zoology**, v. 60, n. 5, p. 581–590, 2014a.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. Damage to forest plantations by tufted capuchins (*Sapajus nigritus*): Too many monkeys or not enough fruits? **Forest Ecology and Management**, v. 314, p. 9-16, 2014b.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D.; ALMEIDA, A.; OLIVEIRA, E. B. de; MOREIRA, J. M. M. A. P. O programa macaco-prego da Embrapa Florestas: avanços e perspectivas. In: **Anais do 5º Congresso Florestal Paranaense**. Curitiba, PR, 2015.

PEDRALI, L. D.; BORGES JÚNIOR, N.; PEREIRA, R. S.; TRAMONTINA, J.; ALBA, E.; MARCHESAN, J. Multispectral remote sensing for determining dry severity levels of pointers in *Eucalyptus* spp. **Revista Scientia Forestalis**, v. 47, n. 122, p. 224-234, jun. 2019.

PEREIRA, L. S.; SILVA, D. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 16, n. 1, p. 8-33, 2016.

PERTILLE, C. T. **Aplicação do sensoriamento remoto no diagnóstico da sanidade de plantios de *Pinus taeda* L. atacados por *Sapajus nigritus* Kerr (1972)**. 2019. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2019.

PINHEIRO, L. M. **Modelo preditivo de efetivação de matrículas com utilização da técnica de Regressão Logística**. 2014. 33 f. Monografia (Graduação em Estatística). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

PRIDE, R. E. Foraging Success, Agonism, and Predator Alarms : Behavioral Predictors of Cortisol in *Lemur catta*. **International Journal of Primatology**, v. 26, p. 295-319, 2005.

ROCHA, V. J. Macaco-prego, como controlar esta nova praga florestal? **Revista Floresta**, v. 30, p. 95-99, 2000.

SEVGHENIAN, E. **Distribuição espacial de espécies arbóreas presentes na área de vida de *Sapajus nigritus* (Primates, Cebidae) na Mata Atlântica, Parque Estadual Carlos Botelho, Estado de São Paulo.** 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SOUZA, E. R.; RIBEIRO, V. G.; DANTAS, B. F.; LIMA FILHO, J. M. P. Variação de carboidratos em folhas da videira 'Itália' submetida a diferentes de níveis de desfolhas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 535-539, 2013.

STRUM, S. C. The Development of Primate Raiding: Implications for Management and Conservation. **International Journal of Primatology**, v. 31, p. 133-156. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed. 2013.

VIEIRA, S. **Introdução à Bioestatística**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2016.

XIE, Q.; DASH, J.; HUANG, W.; PENG, D.; QIN, Q.; MORTIMER, H.; CASA, R.; PIGNATTI, S.; LANEVE, G.; PASCUCCHI, S.; DONG, Y.; HUICHUN, Y. Vegetation indices combining the red and *Red-edge* spectral information for leaf area index retrieval. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 5, n. 11, p. 1482-1493, 2018.

CONCLUSÕES GERAIS

Ao nível de paisagem, é possível concluir que os macacos-prego, no estado de Santa Catarina, danificam as árvores dos plantios em locais com a matriz microrregional da paisagem predominantemente arbórea. Ainda, que os danos ocorrem em regiões com maior cobertura de vegetação natural, com manchas de maior área e melhor forma (menor relação perímetro/área), havendo correlação entre as métricas da paisagem menos fragmentada com a ocorrência de danos nos plantios de pinus.

Sugere-se que, nas regiões onde não ocorrem danos também não há presença dos primatas, devido as extinções locais. O contexto histórico de uso e conservação das propriedades onde as plantações florestais estão instaladas, bem como as características desse cultivo, em especial a rotação longa (20 a 25 anos), podem ter relação direta com o problema estudado nesta pesquisa, ou seja, há evidências de que as propriedades florestais estejam servindo de refúgio para o macaco-prego (*S. nigritus*). Sugere-se que os danos ocorram nas áreas com os maiores remanescentes florestais, ou em áreas conexas a esses fragmentos, pois são esses os locais que dão suporte às populações de macacos-prego.

Ao nível de povoamento, é possível concluir que há correlação entre os Índices de Vegetação e a ocorrência de danos em árvores de *Pinus taeda*, sendo evidente a busca dos animais por plantios com maior concentração de clorofila na folha e, por consequência, maior produção de fotoassimilados. Ainda, há indícios de que a soma dos seguintes fatores: 1 - o aumento da concentração de pigmentos fotossinteticamente ativos e, conseqüentemente, da produção de fotoassimilados do inverno em direção à primavera; 2 – a baixa quantidade de frutos no ambiente natural, resposta fenológica da Floresta Ombrófila Mista para essa estação climática; 3 – o valor energético contido na seiva elaborada de pinus; 4 – a abundância desse recurso nas regiões de ocorrência dos danos; e 5 – a grande capacidade de aprendizagem e de repasse de conhecimentos; elucide a sazonalidade e a motivação do uso de pinus por macaco-prego. O mais interessante é que a relação entre IV e áreas com danos permite empregar dados remotamente situados para prever a ocorrência de danos, gerando modelos de desempenho moderado.

De todas as alternativas que estão sendo testadas para a redução dos danos, a que possui evidências de ser a mais promissora é o uso de substâncias evitadas

pelo macaco-prego, porém segundo Mikich *et al.* (2015) poderá levar vários anos até que algum produto possa ser utilizado em larga escala.

Outro exemplo é a técnica de manejo sugerida por Liebsch *et al.* (2018a), a qual baseia-se no enriquecimento de florestas secundárias com espécies nativas que produzem frutos. Os resultados do presente estudo podem contribuir com o sucesso da técnica sugerida por esses autores e até somar com um novo direcionamento, pois, reconhecendo que a sazonalidade na oferta de frutos é motivada pelo clima regional, sendo natural desse ecossistema, torna-se interessante focar no manejo da paisagem e na qualidade dos corredores ecológicos, para possibilitar um aumento na área de forrageio dos animais, ou até mesmo permitir os deslocamentos para outras regiões nas épocas de escassez de alimento da FOM, potencializando o uso das regiões de ecótono com as Florestas Estacionais Deciduais e Ombrófila Densa.

As características da espécie *Sapajus nigratus* e de suas populações justificam que o manejo dos danos está muito mais relacionado ao manejo florestal do que ao manejo de fauna. Sendo assim, os resultados apresentados por Liebsch *et al.* (2017), que consistem na identificação de *Pinus patula* como uma espécie menos procurada por macaco-prego e Liebsch *et al.* (2018b), os quais alertam sobre a potencialização na diminuição da receita decorrida da redução de crescimento sobre os sortimentos de florestas desbastadas, podem ser complementados com os resultados deste estudo, gerando recomendações técnicas.

Enquanto não existir uma solução mais rápida para a redução dos danos, recomenda-se que:

1. Em plantios com pequena área plantada, onde o objetivo da floresta seja a obtenção de multiprodutos (*Utility*) obtidos pelo manejo da floresta com desbastes, caso seja diagnosticada a predisposição aos danos de macaco-prego e ocorra histórico de danos na região, deve-se evitar desbastes, manter o monitoramento e controle de vespa-da-madeira, reduzir a rotação com vistas a obtenção de madeira para celulose (*Pulpwood*) e, após o corte final, iniciar um novo ciclo com *Pinus patula*.
2. Em plantios com grande área plantada, compostos por um mosaico de idades e classes de manejo, onde o objetivo da floresta seja a obtenção de multiprodutos (*Utility*) obtidos pelo manejo da floresta com desbastes, caso seja diagnosticada a predisposição aos danos de macaco-prego e ocorra histórico de danos na região, deve-se evitar desbastes nos locais de maior probabilidade

da ocorrência dos danos, manter o monitoramento e controle de vespa-da-madeira, deixando os locais não desbastados como área de escape, diminuindo as movimentações dos macacos, ou seja, fixando os animais em uma região da propriedade e reduzindo a probabilidade de ampliação do problema. Como visto por Liebsch e Mikich (2009), os animais tendem a retornar no mesmo povoamento e ainda a atacar as mesmas árvores.

3. Em plantios com grande área plantada, compostos por um mosaico de idades e classes de manejo, onde o objetivo da floresta seja a obtenção de madeira para celulose (*Pulpwood*), caso seja diagnosticada a predisposição do povoamento aos danos de macaco-prego e ocorra histórico de danos na região, a opção deve ser a de reduzir a rotação, manter o monitoramento e controle de vespa-da-madeira e, após o corte final, iniciar um novo ciclo com *Pinus patula*.

Essas recomendações perderão valor, ao passo que medidas mais eficazes de redução dos danos sejam descobertas. Mesmo assim, os resultados do presente estudo continuarão a servir no futuro, uma vez que os modelos de previsão permitem a determinação de locais prioritários, onde neles as medidas de manejo mais eficazes poderão ser empregadas, para reduzir a possibilidade da ocorrência de danos de macaco-prego.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, E. M.; AHMED, F. B. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid) production: a review of the literature. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 13, p. 3753-3767, 2008.
- ABDEL-RAHMAN, E. M.; AHMED, F. B.; BERG, M. V. D.; WAY, M. J. Potential of spectroscopic data sets for sugarcane thrips (*Fulmekiola serrata* Kobus) damage detection. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 15, p. 4199-4216, 2010.
- ABDEL-RAHMAN, E. M.; LANDMANN, T.; KYALO, R.; ONG, G.; MWALUSEPO, S.; SULIEMAN, S.; LE, B. Predicting stem borer density in maize using RapidEye data and generalized linear models. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 57, p. 61-74, 2017.
- ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico Ano Base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013.
- ADAN, M. S. **Intergrating Sentinel-2 derived vegetation indices and terrestrial laser scanner to estimate aboveground biomass/carbon in ayer hitam tropical forest Malaysia**. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Geo-informação) - Universidade de Twente, Enschede, 2017.
- ADELABU, S.; MUTANGA, O.; ADAM, E. Evaluating the impact of *Red-edge* band from Rapideye image for classifying insect defoliation levels. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 95, p. 34-41, 2014.
- AGOSTIN, P. T.; SOUZA, V. A. de; MIKICH, S. B.; LIEBLICH, D. Estudo genético de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. como base para um programa de controle dos danos causados pelo macaco-prego aos plantios comerciais de *Pinus* spp. In: **Anais VII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas**, Colombo, PR, 2008.
- ALMEIDA, A. **Influência da disponibilidade sazonal e da composição química de itens alimentares no consumo do macaco-prego**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto. 2013.
- ALMEIDA, A.; MIKICH, S. B.; HELM, C. V. Caracterização química da seiva de quatro espécies de pinus em área com ocorrência de descascamento por macaco-prego. In: **Anais do XII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas**. Colombo, PR, 2012.
- ANDRUSKI-GUIMARÃES, I. Análise de Componentes Principais Aplicada à estimação de parâmetros no Modelo de Regressão Logística Quadrático. **Revista TEMA Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 1, p. 57-68. 2013.
- BASSO, V. M.; JACOVINE, L. A. G.; ALVES, R. R.; VALVERDE, S. R.; SILVA, F. L.; BRIANEZI, D. Avaliação da influência da certificação florestal no cumprimento da

legislação ambiental em plantações florestais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 835-844, 2011.

BEM, P. P. de. **Previsão de vulnerabilidade a incêndios florestais utilizando regressão logística e redes neurais artificiais: um estudo de caso no Distrito Federal Brasileiro**. 2017. 39 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

BIANCHI, F. J. J. A.; BOOIJ, C. J. H.; TSCHARNTKE, T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 273, p. 1715-1727, 2006.

BISQUERT, M. M.; SÁNCHEZ, J. M.; CASELLES, V. Fire danger estimation from MODIS Enhanced Vegetation Index data: Application to Galicia region (north-west Spain). **International Journal of Wildland Fire**, v. 20, n. 3, p. 465–473, 2011.

BLACKBURN, G. A. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 4, p. 657–675, 1998.

BRASIL. Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. **Diário Oficial da União**, 24 de agosto de 2008.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da União**, 22 de dezembro de 2006.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União**, 12 de fevereiro de 1998.

BUJOKAS, W. M.; MARTINS, K. G.; MARQUES, R. Crescimento, teores de clorofila e de bioelementos em indivíduos jovens de *Schinus terebinthifolius* expostos à poeira de cimento. **Revista Floresta**, v. 40, n. 3, p. 523-534. 2010.

CABRAL, D. C.; CESCO, S. Notas para uma história da exploração madeireira na mata atlântica do sul-sudeste. **Ambiente e Sociedade**, v. 11, n. 1 p. 33-48, 2008.

CARRANO-MOREIRA, A. F. **Manejo Integrado de Pragas Florestais: fundamentos ecológicos, conceitos e táticas de controle**. Rio de Janeiro: Technical Books, 2014.

CARVALHO, D. R. J. **Predação em *Pinus* spp. por *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) (Primates; Cebidae) na região nordeste do Paraná - Brasil**. 2007. 64 f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

CARVALHO, D. R. J.; MOGNON, F.; SILVA, A. S.; SCHULTZ, G. C.; DELLA GIACOMA, F. **Projeto Macaco-prego: predação em *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em General Carneiro, Paraná**. Curitiba: Instituto Ecoplan/SEMA/FEMA, 2003.

CERBARO, V. A.; FORNARI, M.; PAVAN, W.; FERNANDES, J. M. C.; CECHETTI, N. P. Plataforma de baixo custo para coleta de imagens NDVI. In: **Anais do X Congresso Brasileiro de Agroinformática**. 2015.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459–479, 1988.

COUTO, P. Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. **Investigação Operacional**, v. 24, p. 109-137, 2004.

CPB - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE PRIMATAS BRASILEIROS. **Primatas brasileiros**. 2012. Disponível em: <http://www.4.icmbio.gov.br>. Acesso em: 16 fev. 2019.

CURRAN, P.J., DUNGAN, J.L., GHOLZ, H.L. Exploring the relationship between reflectance red-edge and chlorophyll content in slash pine. **Tree Physiology**. v. 7, p. 33–48, 1990.

DASH, J.; CURRAN, P.J. Evaluation of the MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI). **Advances in Space Research**, v. 39, n. 1, p. 100–104, 2007.

DAUGHTRY, C. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 229–239, 2000.

DE MARCHI, J. **Sensor ativo de dossel na gestão da adubação nitrogenada em algodoeiro no estado de Mato Grosso**. 2018. 66 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Sinop. 2018.

DELEGIDO, J.; VERRELST, J.; ALONSO, L.; MORENO, J. Evaluation of Sentinel-2 rededge bands for empirical estimation of green LAI and chlorophyll content. **Sensors**, v. 11, p. 7063–7081, 2011.

DELGADO, L. E. da S. **Sanidade de populações de macaco-prego *Sapajus nigritus* (Goldfuss 1809) em fragmentos de floresta atlântica do sul do Brasil**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

DI BITETTI, M. S. Primates bark-stripping trees in forest plantations – A review **Forest Ecology and Management**. v.449. 2019.

DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHERI, H. R. **Produção e Rentabilidade de Pinus em Empresas Florestais**. Colombo: EMBRAPA, 2002.

DROOMER, E. A. P. Volume and value loss owing to Samango monkey damage in pine stands in the Northern Transvaal. **South African Forestry Journal** v. 134, p. 47-51. 1985.

EITEL, J.U.H., VIERLING, L.A., LITVAK, M.E., LONG, D.S., SCHULTHESS, U., AGER, A.A., KROFCHECK, D.J., STOSCHECK, L. Broadband, *Red-edge* information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 3640-3646. 2011.

EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO QGIS. **QGIS 3.8.1: Geographic Information System User Guide**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2018.

ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2: Overview**. 2019. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview>. Acesso em: 17 jun. 2019.

ESA. European Space Agency. **SNAP and Sentinel Toolboxes**. 2019. Disponível em: <http://step.esa.int/main/download/>. Acesso em: 14 de maio de 2019.

FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. P.; SILVA, F. L. da; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2009.

FENSHOLT, R.; SANDHOLT, I.; RASMUSSEN, M.S. Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n. 3–4, p. 490-507, 2004.

FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, M. **Influência da dieta nos padrões espaciais dos primatas: proposta metodológica aplicada a um grupo de *Sapajus nigritus***. 2014. 244 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FERNÁNDEZ-MANSO, A.; FERNÁNDEZ-MANSO, O.; QUINTANO, C. SENTINEL-2A Red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 50, p. 170–175, 2016.

FERNÁNDEZ-MANSO, A.; FERNÁNDEZ-MANSO, O.; QUINTANO, C. SENTINEL-2A Red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 50, p. 170–175, 2016.

FOGAÇA, M. D. **Comportamento alimentar e propriedades físicas dos alimentos consumidos por macacos-prego (*Sapajus nigritus*), no Parque Estadual Carlos Botelho, SP**. 2014. 80 f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FRAGASZY, D. M.; VISALBERGHI, E.; FEDIGAN, L. M.. **The Complete Capuchin – The Biology of the Genus Cebus**. United Kingdom: Cambridge University Press, 2004.

FRAMPTON, W. J., DASH, J., EDWARD, G. W., MILTON, J. Evaluating the capabilities of Sentinel 2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 82, p. 83–92, 2013.

GALETTI, M.; PEDRONI, F. Seasonal diet of capuchin monkeys (*Cebus apella*) in a semideciduous forest in south-east Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, n. 1, p. 27–39, 1994.

GERUM, M.; INOUE, M.T. Variação estacional da pigmentação foliar de quatro espécies arbóreas em função da poluição urbana. In: **Resumos do Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 1995.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B.; GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. **Photochemistry and Photobiology**, v. 74, n. 1, p. 38–45, 2001.

GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T. J.; RUNDQUIST, D. C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 5, p. 271–282, 2003.

GITELSON, A. A.; ZUR, Y.; CHIVKUNOVA, O. B.; MERZLYAK, M. N. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. **Photochemistry and Photobiology**, v. 75, n. 3, p. 272–281, 2002.

GNOINSKY JUNIOR, J. **Custos de campo em inventários de florestas plantadas: estudo de caso**. 2015. 40 f. Monografia (Especialização em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

GOTTESFELD, L. M. J. The importance of bark products in the aboriginal economies of Northwestern British Columbia Canada. **Economic Botany**, v. 46, n. 2, p. 148–157, 1992.

GROVES, C. P. Order Primates. In: WILSON, D. E.; REEDER, D. M. (Ed.). **Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2005. p. 111–184.

HASS, G. P. **Levantamento populacional do bugio-ruivo (*Alouatta clamitans*) e do macaco-prego (*Sapajus nigritus*) em fragmentos florestais de Mata de Araucária em Fazenda Souza, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil**. 2012. 29 f. Monografia (Especialização em Diversidade e Conservação da Fauna) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

HENDGES, C. D.; MELO, G. L.; GONÇALVES, A. S.; CEREZER, F. O. Landscape attributes as drivers of the geographical variation in density of *Sapajus nigritus* Kerr, 1792, a primate endemic to the Atlantic Forest. **Acta Oecologica**, v. 84, p. 57–63, 2017.

HOFFMANN, M. **The IUCN Red List of Threatened Species 2008: *Palaeopropithecus ingens***. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T136532A4306543.en>. Acesso em: 4 jul. 2019.

IAP, Instituto Ambiental do Paraná. **Delineamentos para o manejo do macaco-prego (*Cebus nigritus*) no Paraná**. Curitiba: Projeto Paraná Biodiversidade, 2009.

IBM. **IBM SPSS Statistics for Windows**, Versão de demonstração. Armonk, NY: IBM Corporation. 2019.

IBM. **IBM SPSS Statistics for Windows**. Versão de demonstração. Armonk: IBM Corporation. 2019.

INOUE, M. T. TEOR DE CLOROFILA DE SEIS ESPÉCIES ARBÓREAS SOB INFLUÊNCIA DA POEIRA DE CIMENTO. **Revista Floresta**, v. 40, n. 2, p. 457-464. 2010.

INOUE, M. T.; MARTINS, E. G. Variação sazonal da fotossíntese e clorofila em progênies de *Grevillea robusta* Cunn. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1. p. 12, 2006.

INOUE, M. T.; RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, Y.S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF/UFPR, 1984.

INPE, Instituto de Pesquisas Espaciais; SOS Mata Atlântica. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**: período 2017-2018. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2019.

IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas). **Relatório de atividades nº 89**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species**: version 2019.1. 2019. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 07 abr. 2019.

IZAR, P. Female social relationships of *Cebus apella nigratus* in a southeastern Atlantic forest: an analysis through ecological models of primate social evolution. **Behaviour**, v. 141, n. 1, p. 71-99, 2004.

IZAR, P.; VERDERANE, M. P.; PETERNELLI-DOS-SANTOS, L.; MENDONÇA-FURTADO, O.; PRESOTTO, A.; TOKUDA, M.; FRAGASZY, D. Flexible and conservative features of social systems in tufted capuchin monkeys: comparing the socioecology of *Sapajus libidinosus* and *Sapajus nigratus*. **American Journal of Primatology**, v. 74, n. 4, p. 315-331, 2012.

JACKSON, H. B.; FAHRIG, L., What size is a biologically relevant landscape? **Landscape Ecology**, v. 27, p. 929-941, 2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução por: EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; SANTOS, A.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S. São José dos Campos: Parêntese. 2009. Título original: Remote sensing of the environment: an earth resource perspective.

JUNG, M. LecoS - A python plugin for automated landscape ecology analysis. **Ecological Informatics**, v. 31, p. 18-21, 2016.

KLEIN, R. M. **Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina**. Itajaí: SUDESUL/FATMA/HBR, 1978.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, v. 12, n. 12, p. 17-44, 1960.

KOEHLER, A.; FIRKOWSKI, C. Descascamento de pinus por *Cebus apella*. **Floresta**, v. 24, p. 61-75, 1996.

KOEHLER, A.; FIRKOWSKI, K. Descascamento de pinus por macaco-prego (*Cebus apella*). **Revista Floresta**. v. 24, n. 1/2, p. 61-75.1996.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LAMBERS, H.; III, F. S. C.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. New York: Springer-Verlag, 1998.

LEE, P. C.; PRISTON, N. E. C. Human attitudes to primates: Perceptions of pests, conflict and consequences for primate conservation. In: PATERSON, J. D.; WALLIS, J. **Commensalism and Conflict: The Human-Primate Interface**. American Society of Primatologists, 2005.

LIEBSCH, D. ;OLIVEIRA, E. B.; MOREIRA, J. M. ; MIKICH, S. B.. Inventário e aplicativo computacional para avaliação de danos causados por macaco-prego em plantios de pinus. EMBRAPA FLORESTAS. COMUNICADO TÉCNICO, v. 384, p. 1-8, 2016.

LIEBSCH, D.; ÁVILA PAZ MOREIRA, J. M. M.; OLIVEIRA, E. B.; MIKICH, S. B. Impacto do descascamento de árvores de *Pinus taeda* L. por macacos-prego na produção e receita em plantios com desbastes. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 48-55. 2018.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B. Damage caused by brown-capuchin monkeys to nine *Pinus* species and the implications for forest management, **Revista Floresta**, v. 47, n. 1, p. 37-42. 2017.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B. First record of Eucalyptus spp. bark-stripping by brown-capuchin monkeys (*Sapajus nigritus*, Primates: Cebidae). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 501-505. 2015.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B.; ALMEIDA, A. de. **Espécies e práticas indicadas para o enriquecimento da Floresta com Araucária visando reduzir os danos causados por macacos-prego a plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas. 2018a. Comunicado técnico.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B.; OLIVEIRA, E. B. de; MOREIRA, J. M. M. A. P. Descascamento de *Pinus taeda* por macacos-prego (*Sapajus nigritus*): tipos e intensidades de danos e seus impactos sobre o crescimento das árvores. **Revista Scientia Forestalys**, v. 43, n. 105, p. 37-49, 2015

LIEBSCH, D.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B; MIKICH, S. B. Impacto do descascamento de árvores de *Pinus taeda* L. por macacos-prego na produção e receita em plantios com desbastes. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 48-55. 2018.

LIMA, G. Manejo e conservação de fauna silvestre em áreas de reflorestamento. **Est. Biol.**, v. 34, p. 5-16, 1993.

LIMA, M. G. M. **Filogenia, biogeografia e história evolutiva dos macacos-prego, gênero *Sapajus* kerr, 1972 (Primates: Cebidae)**. 2016. 119 f. Tese (Doutorado em Zoologia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

LUDWIG, G.; AGUIAR, L. M.; ROCHA, V. J. Uma avaliação da dieta, da área de vida e das estimativas populacionais de *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) em um fragmento florestal no norte do estado do Paraná. **Neotropical Primates**, v. 13, n. 3, p. 12–18, 2005.

LYNCH ALFARO, J.W., SILVA-JUNIOR, J. S., RYLANDS, A.B. How different are robust and gracile capuchin monkeys? An argument for the use of *Sapajus* and *Cebus*. **American Journal of Primatology**, v. 00, p. 1-14, 2012.

MACHADO, E.C.; MEDINA, L.C.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial de água na folha de laranjeira 'Valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, n.1, p. 53-58, 2002.

MACPHEE, R.; HOFFMANN, M. **The IUCN Red List of Threatened Species 2008: *Xenothrix mcgregori***. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T136515A4303233.en>. Acesso em: 4 jul. 2019.

MARQUES, M. C. M.; ROPER, J. J.; SALVALAGGIO, P. B. Phenological patterns among plant life-forms in a subtropical forest in southern Brazil. **Plant Ecology**, v. 173, p. 203-213, 2004.

MARTINS, G. D.; GALO, M. de L. B. T. Detecção de áreas infestadas por nematoides e *Migdolus fryanus* em cultura canavieira a partir de imagens multiespectrais Rapideye. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, p. 285-301, 2014.

MENDONÇA-FURTADO, O. **Medidas de metabólitos de cortisol em macacos-prego (Gênero *Sapajus*): análise comparativa entre populações para investigação de fatores estressores**. 2012. 92 f. Tese (Doutorado em Psicologia). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

MERZLYAK, M. N.; GITELSON, A. A.; CHIVKUNOVA, O. B.; RAKITIN, V. Y. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, v. 106, n. 1, p. 135–141, 1999.

METZGER, J. P. Delineamento de experimentos numa perspectiva de ecologia da paisagem. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná. p. 525-542, 2006a.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná. p.423-453. 2006b.

MIKICH, S. B.; ALMEIDA, A. Espécies e práticas indicadas para o enriquecimento da Floresta com Araucária visando reduzir os danos causados por macacos-prego a plantações florestais. **Comunicado Técnico Embrapa Florestas**, v. 412, p. 1, 2018.

MIKICH, S. B.; LIEBLICH, D.; ALMEIDA, A. de; MIYAZAKI, R. D. O papel do macaco-prego *Sapajus nigritus* na dispersão de sementes e no controle potencial de insetos-

praga em cultivos agrícolas e florestais. In: **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015b.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. **O Macaco-prego e os Plantios de *Pinus* spp.** Colombo: Embrapa Florestas. 2009. Comunicado Técnico.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. Assessment of food supplementation and surveillance as techniques to reduce damage caused by black capuchin monkeys *Sapajus nigritus* to forest plantations. **Current Zoology**, v. 60, n. 5, p. 581–590, 2014a.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. DAL'MASO, A. Avaliação dos danos causados por macaco-prego, *Cebus apella*, a plantios de *Pinus* spp. e sua relação com a disponibilidade sazonal de frutos em remanescentes da Floresta Ombrófila Mista no Estado do Paraná, Brasil. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Primatologia**. 2005.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. Damage to forest plantations by tufted capuchins (*Sapajus nigritus*): Too many monkeys or not enough fruits? **Forest Ecology and Management**, v. 314, p. 9-16, 2014b.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D. **O Macaco-prego e os plantios de *Pinus* spp.** Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

MIKICH, S. B.; LIEBSCH, D.; ALMEIDA, A.; OLIVEIRA, E. B. de; MOREIRA, J. M. M. A. P. O programa macaco-prego da Embrapa Florestas: avanços e perspectivas. In: **Anais do 5º Congresso Florestal Paranaense**. 2015a.

MIRANDA, V. N.; ALMEIDA, A.; HELM, C. V. Caracterização da composição química de cinco itens relacionados ao hábito alimentar do macaco-prego. In: **Anais do XII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas**. Colombo, PR. 2013.

MOHAMMADI, F.; BAVAGHAR, M. P.; SHABANIAN, N. Forest Fire Risk Zone Modeling Using Logistic Regression and GIS: An Iranian Case Study. **Small-Scale Forestry**, v. 13, n. 1, p. 117–125, 2014.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B. de; LIEBSCH, D.; MIKICH, S. B. **Avaliação do impacto econômico de danos causados por macacos-prego a plantios de *Pinus taeda* no Sul do Brasil: método proposto e estudo de caso**. Documento nº 302. Colombo: Embrapa Florestas, 2017.

OLIVEIRA, E. B.; MOREIRA, J.M.M.A.P.; LIEBSCH, D; MIKICH, S. B.. Ferramenta computacional para estimar perdas na produção de madeira de *Pinus taeda*, em plantações atacadas por macaco-prego (*Sapajus nigritus*). In: **Anais do 5º Congresso Florestal Paranaense**, 2015, Curitiba, PR, 2015.

PAVELSKI, J. A. **Quantificação das perdas ocasionadas por ataque de macaco-prego em reflorestamentos de *Pinus taeda***. 2016. 28 f. Monografia (Especialização em Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PEDRALI, L. D.; BORGES JÚNIOR, N.; PEREIRA, R. S.; TRAMONTINA, J.; ALBA, E.; MARCHESAN, J. Multispectral remote sensing for determining dry severity levels

of pointers in *Eucalyptus* spp. **Revista Scientia Forestalis**, v. 47, n. 122, p. 224-234, 2019.

PEREIRA, L. S.; SILVA, D. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 16, n. 1, p. 8-33, 2016.

PERTILLE, C. T. **Aplicação do sensoriamento remoto no diagnóstico da sanidade de plantios de *Pinus taeda* L. atacados por *Sapajus nigritus* Kerr (1972)**. 2019. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

PINHEIRO, L. M. **Modelo preditivo de efetivação de matrículas com utilização da técnica de Regressão Logística**. 2014. 33 f. Monografia (Graduação em Estatística). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014.

PIRES, P. de T. de L.; LOPER, A. A.; MENDES, C. J.; PETERS, E. L.; MAIA, G. N.; ABREU, L. M. de. **Dicionário de termos florestais**. FUPEF, Curitiba, ed. 1, p. 113, 2018.

PONZONI, F. J. **Comportamento Espectral da Vegetação**. In. Sensoriamento Remoto – Reflectância dos alvos naturais. Brasília: Editora UnB. p. 157-199, 2001.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

PRIDE, R. E. Foraging Success, Agonism, and Predator Alarms : Behavioral Predictors of Cortisol in *Lemur catta*. **International Journal of Primatology**, v. 26, p. 295-319, 2005.

Projeto MapBiomass. **Coleção 2.3 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. 2018. Disponível em: <http://mapbiomas.org/> Acesso em: 03 de julho de 2019.

PSG - PRIMATE SPECIALIST GROUP. **Global primate biodiversity**. **International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland and Cambridge, UK**. 2018. Disponível em: http://www.primate-sg.org/primate_diversity_by_region/. Acesso em: 23 jul. 2019.

RANGEL, C. H.; ADLER, J. G. V.; HELIODOR, G. C.; SANTOS JR, A.; VERONA, C. E. Relato de caso de morte por agressão entre macacos-prego *Sapajus nigritus* (Primates: Cebidae) no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Neotropical Primates**, v. 20, n. 1, p. 48-52, 2013.

RÍMOLI, J.; STRIER, K.B.; FERRARI, S.F. Seasonal and longitudinal variation in the behavior of free-ranging black tufted capuchins *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) in a fragment of Atlantic Forest in Southeastern Brazil. In: FERRARI, S., RÍMOLI, J. (Ed.). **A Primatologia No Brasil**, v. 9, p. 130-146, 2008.

ROCHA, L. C. **Percepções e atitudes de moradores rurais em relações ao macaco-prego, *Sapajus nigritus* (Goldfuss, 1809), na área de influência de uma**

usina hidrelétrica no Rio Grande do Sul. 2013. 38 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Animal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

ROCHA, V. J. Macaco-prego, como controlar esta nova praga florestal? **Revista Floresta**, v. 30, p. 95-99, 2000.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.** In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Whashington: Nasa, 1974, v. 1, p. 309-317, 1973.

RYLANDS, A. B.; MITTERMEIER, R. A.; SILVA JR, J. A. Neotropical primates: taxonomy and recently described species and subspecies. **International Zoo Yearbook**, v. 46, p. 11-24, 2012.

SANTOS, J. L.; PASCHOAL, A. M. O.; MASSARA, R. L.; CHIARELLO, A. G. High consumption of primates by pumas and ocelots in a remnant of the Brazilian Atlantic Forest. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 3, p. 632-641, 2014.

SANTOS, L. P. C. dos. **Parâmetros nutricionais da dieta de duas populações de macacos-prego: *Sapajus libidinosus* no ecótono Cerrado/Caatinga e *Sapajus nigritus* na Mata Atlântica.** 2015. 111 f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SEVGHENIAN, E. **Distribuição espacial de espécies arbóreas presentes na área de vida de *Sapajus nigritus* (Primates, Cebidae) na Mata Atlântica, Parque Estadual Carlos Botelho, Estado de São Paulo.** 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SILVA, O. F. **Análise de imagens multitemporais do sensor TM Landsat-5 da vegetação do cerrado, utilizando técnicas de NDVI, no Parque Nacional das Emas – Goiás.** 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2014.

SILVEIRA, H. L. F. da. **Uso de dados do sensor MSI/Sentinel-2 e de Lidar aerotransportado para mapeamento de fitofisionomias de Caatinga e estudo das relações com atributos físico-químicos dos solos.** 2018. 136 f. Dissertação (Mestrado do Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2018.

SOUZA, E. R.; RIBEIRO, V. G.; DANTAS, B. F.; LIMA FILHO, J. M. P. Variação de carboidratos em folhas da videira 'Itália' submetida a diferentes de níveis de desfolhas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 535-539, 2013.

STRUM, S. C. The Development of Primate Raiding: Implications for Management and Conservation. **International Journal of Primatology**, v. 31, p. 133-156. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5.ed. Porto Alegre: Artemed. 2013.

TOGNI, P.; SUJII, E.; PALLINI, A.; SOUZA, L.; SOUSA, A. VENZON, M. Manipulação do habitat em diferentes escalas espaciais para o controle biológico conservativo em

hortaliças orgânicas. In: **Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF** – v. 13, n. 1, p. 7, 2017.

UEZU, A. Uso de informações geográficas em biologia da conservação. In: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná. p.481-500, 2006.

VIDOLIN, G. P.; MIKICH, S. B. *Cebus nigratus* (Primates: Cebidae) no Parque Estadual de Vila Rica do Espírito Santo, Fênix – PR: estimativa populacional e área de vida, composição e dinâmica dos grupos. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação**. Curitiba, PR, 2004.

VIEIRA, S. **Introdução à Bioestatística**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2016.

VILAR DEL HOYO, L.; ISABEL, M. P. M.; VEGA, F. J. M. Logistic regression models for human-caused wildfire risk estimation: Analysing the effect of the spatial accuracy in fire occurrence data. **European Journal of Forest Research**, v. 130, n. 6, p. 983–996, 2011.

VON DEM BUSSCHE, G. H.; VAN DER ZEE, D. Damage by Samango Monkeys, *Cercopithecus (mitis) albogularis*, to Pine Trees in the Northern Transvaal. **South African Forestry Journal**, v. 133, n. 1, p. 43-48, 1985.

WILLMER, J. N. G.; UZÊDA, M. C.; VIEIRA, M. V. A influência da paisagem e do manejo sobre a provisão do controle biológico de pragas. In: **Anais da XVII Semana Científica Johanna Dobereiner**, 2017.

XIE, Q.; DASH, J.; HUANG, W.; PENG, D.; QIN, Q.; MORTIMER, H.; CASA, R.; PIGNATTI, S.; LANEVE, G.; PASCUCCHI, S.; DONG, Y.; HUICHUN, Y. Vegetation indices combining the red and *Red-edge* spectral information for leaf area index retrieval. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 5, n. 11, p. 1482-1493, 2018.

ZACKRISSON, O.; OSTLUND, L.; KORHONEN, O.; BERGMAN, I. The ancient use of *Pinus sylvestris* L. (Scots pine) inner bark by Sami people in northern Sweden, related to cultural and ecological factors. **Vegetation History and Archaeobotany Journal**. v. 9, p. 99-109, 2000.

ZHANG, Y.; LIM, S.; SHARPLES, J. J. Modelling spatial patterns of wildfire occurrence in South-Eastern Australia. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 5705, p. 1–16, 2016.